- ترمودینامیک (۱) - جلسه اول

تغییرات سایر انرژیها = کار - حرارت

این رابطه از قانون اول ترمودینامیک گرفته شده است ← $Q - W = \Delta E$ ← رابطه انرژی

- قانون صفرم ترمودینامیک: تعادل حرارتی ← انرژی از جسم گرمتر به جسم سردتر منتقل می گردد ← این قانون مربوط به فرآیند (process) می باشد.

- قانون اول ترمودینامیک: این قانون مربوط به سیکل ها (چرخه ها) می باشد نه فرآیندها

در هر چرخه جمع جبری کارهای انتقال یافته با حرارت های انتقال یافته برابر می باشند. ← $\oint \delta Q = \oint \delta W$ قانون بقای انرژی

- قانون دوم ترمودینامیک: ← کیفیت فرآیند

- قانون سوم ترمودینامیک: ← آنتروپی ← هر چقدر که تغییرات آنتروپی به سمت صفر میل کند فرآیند کیفیت بهتری دارد. و این نکته که در صفر کلوین (مطلق)، آنتروپی برابر صفر خواهد بود

قانون بقای جرم برای سیستم های باز ← $m_2 - m_1 = m_i - m_e$

قانون بقای جرم برای سیستم های بسته ← $m_i = m_e$

combastion chamber = محفظه احتراق : جهت اطلاع "

- معادله حالت: "state equation"

$PV = RT$ ①
(V ← حجم ویژه)

$PV = mRT$ ②
(V ← حجم کل)

$PV = n\bar{R}T$ ③
(V ← حجم کل)

Shuter

Scanned by CamScanner

Subject:
Day. Month. Year. ( )

$\bar{R}$ = ثابت گازها = $۸٫۱۳٤ \frac{kJ}{kmol.K}$

R = ثابت هر گاز = $\frac{\bar{R}}{M}$ ← جرم مولکولی آن گاز

مثلاً CH_4 متان: $R = \frac{۸٫۱۳٤ \frac{kJ}{kmol.K}}{۱۶ \frac{kg}{kmol}} = ۰٫۵۱۹ \frac{kJ}{kg.K}$

درجه کلوین $°K = ۲۷۳٫۱۵ + °C$ (درجه سلسیوس)

درجه رانکین $°R = ۴۶۰ + °F$ (درجه فارنهایت)

- مثال: جرم هوای داخل اتاق/کلاس درس را بیابید؟

فرضیات: فشار ۰٫۹ bar، و دمای ۲۵°C ، (طول = ۶(m) ، عرض = ۵(m) ، ارتفاع = ۴(m))

پاسخ: → $۰٫۹\ bar \times ۱۰۰ = ۹۰\ kPa \Rightarrow ۹۰\ kPa \times V = m \times ۰٫۲۸۷ \frac{kJ}{kg.K} \times (۲۷۳٫۱۵+۲۵)$

$V = ۶\times۵\times۴$ ، $R_{هوا} = \frac{۸٫۳۱۴}{۲۸٫۹} = ۰٫۲۸۷$

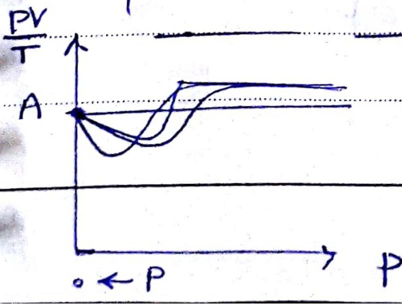
$$\Rightarrow m = \frac{۰٫۹(bar) \times \frac{۱۰۰(kPa)}{۱(bar)} \times (۶\times۵\times٤)(m^3)}{۰٫۲۸۷\left(\frac{kJ}{kg.K}\right) \times (۲۷۳٫۱۵+۲۵)(K)} = ۱۲۶٫۳\ (kg)$$

$1(atm) = ۱٫۰۱۳۲۵\ (bar)$ ، $1(bar) = ۱۰^۵\ Pa = ۱۰۰\ kPa = ۰٫۱\ MPa$

تمرین (در منزل): ۲۰۰ Lit گاز CO_2 داخل کپسولی در فشار داخل $p = ۱۰۰\ atm$ و دمای $T = ۲۵°C$ قرار دارد، مطلوب است محاسبه جرم گاز CO_2 داخل کپسول؟

نکته: حجم ویژه = $\frac{حجم\ کل}{جرم}$ $\Rightarrow v = \frac{V}{m}$

جرم ویژه = $\rho = \frac{m}{V}$ → $\rho_{آب} = ۱۰۰۰ \frac{kg}{m^3}$ → $\frac{kg}{Lit}$



گاز ایده‌آل: گازی است که نیروهای بین مولکولی آن ناچیز است.

$P \to ۰ \Rightarrow \frac{PV}{T} \to A = \bar{R}$ ثابت گازها

Shuter

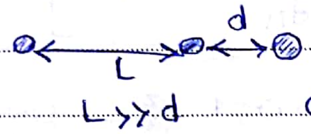
Scanned by CamScanner

- ترمودینامیک (۱) – جلسه دوم

- **حرارت**: به انرژی تبدیل شده است ⟵ حرارت ابتدا سیال بوده است => پس حرارت همان انرژی است (Thermal energy)

" حرارت یک نوع انرژی است و انرژی نیز از تئوری مولکولی گرفته شده است.

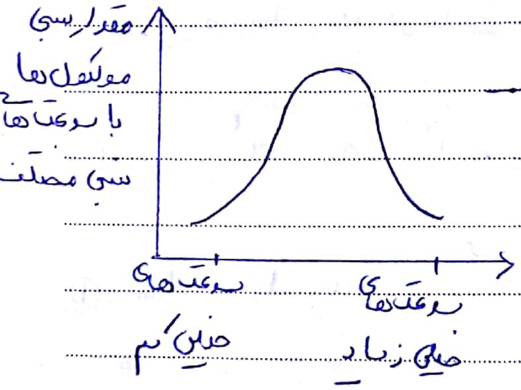
تئوری مولکولی: مولکول‌ها با سرعت در حال حرکت است که در اثر این سرعت با مولکول دیگر برخورد می‌کند و سرعت مولکول دیگر افزایش می‌یابد و به آن مولکول دیگر انرژی می‌دهد یعنی مولکول‌ها در اثر سرعت از انرژی پر می‌شوند.



$L >> d$

نکته: در این صورت انرژی کل ماده که شامل تعداد از مولکول‌های بالا است برابر مجموع انرژی‌های تک تک مولکول‌های موجود می‌باشد.

- از تئوری مولکولی سه نتیجه حاصل می‌شود: ① – حرارت یک انرژی است که جمع انرژی مولکول‌های ماده است – ② – درجه حرارت (درجه میزان حرارت): عنایانگر سرعت متوسط مولکول‌ها می‌باشد یعنی درجه درجه حرارت افزایش یابد، سرعت متوسط مولکول‌ها افزایش می‌یابد.
③ – مولکول‌های یک ماده سرعت‌های نامشخص دارند و از منحنی توزیع ماکسول تبعیت می‌کنند.



- کار (work) یا انرژی مکانیکی (mechanical energy):
نیرو × جابجایی

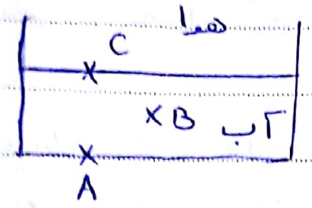
- انرژی: نشان می‌دهد: ۱ – حرکت مولکول ۲ – طرز قرار گرفتن مولکول ۳ – موقعیت مولکول‌ها؛ به طوری که اگر شرایط مناسب شود می‌تواند کار انجام دهد.

Shuter

Scanned by CamScanner

سیال fluid { liquid / gass

- فشار (pressure): ← فشار در یک نقطه:

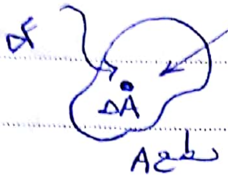


P_A → بین ظرف و آب

P_B → بین آب (داخل)

P_C → بین دو سیال آب و هوا

- تعریف ریاضی فشار: ←



$$\lim_{\Delta A \to 0} \frac{\Delta F}{\Delta A} = P \Rightarrow P = \frac{dF}{dA} \Rightarrow F = \int P \cdot dA$$

- نکته: فشار از جنس نیروی خارجی می باشد ولی تنش از جنس نیروی داخلی می باشد.

مثلاً فشار وارد کردن به دیوار به عنوان یک نیروی خارجی است و مقاومت دیوار در برابر آن فشار وارد شده را تنش می گویند که از جنس نیروهای داخلی می باشد.

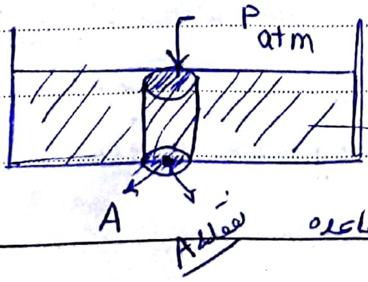
نیروها:
- نیروهای داخلی (نیروهای بین ذرات یا مولکول های یک ماده)
- نیروهای خارجی:
  - سطحی (surface force) نیرویی است که به سطح جسم وارد می شود
  - حجمی یا جسمی (body force) نیرویی است که از خارج بر مولکول ها یا ذرات جسم وارد می شود. ← مثل: نیروی وزن یا جاذبه _ نیروی گریز از مرکز _ نیروی الکترومغناطیس

- در ترمودینامیک به جای نیرو از فشار و به جای مسافت از حجم استفاده می شود.

- فشار به عنوان یکی از خاصیت های ترمودینامیکی به حساب می آید.

- انواع فشار: ① فشار هیدرواستاتیکی ② فشار دینامیکی ③ فشار استاتیکی ④ فشار ...

① فشار هیدرواستاتیکی: فشار اعمال شده در یک نقطه داخل سیال برابر وزن سیال.



وزن مخصوص آب = γ وزن آب

حجم استوانه = $1 \times h = h$

قاعده = 1

$\gamma \times 1 \times h = \gamma h$ (وزن × حجم استوانه)

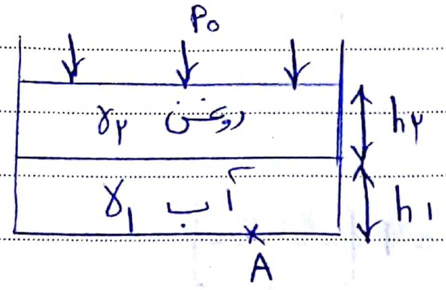
$$\Rightarrow P_A = P_{atm} + \gamma h$$

وزن مخصوص $\gamma = \rho g$ (جرم، نیروی گرانش)

Shuter
Scanned by CamScanner

Subject:
Day. Month. Year. ( )

نکته) هرچه از نقطه مورد نظر ارتفاع بگیریم، فشار کاهش پیدا می‌کند.



اگر ظرفمان از چند ماده سیال تشکیل شده ⟸ باشد، خواهیم داشت که:

$$P_A = P_0 + \gamma_2 h_2 + \gamma_1 h_1$$

② ـ فشار دینامیکی: این فشار ناشی از حرکت سیال با سرعت V است که معادل $V^2/2$ است.

$P_{دینامیکی} = V^2/2$

$$PV = RT \xrightarrow{v = 1/\rho} P \times \frac{1}{\rho} = RT \rightarrow \rho = \frac{P}{RT}$$

ـ حال اگر سیالی به دیوار فشار هیدرواستاتیکی و دینامیکی وارد گردد ولی در دیوار تغییری ایجاد نشود، مقابله دیوار بر علیه فشارها باعث تبدیل آنها به (مجموع آنها) به فشار استاتیکی می‌شود.

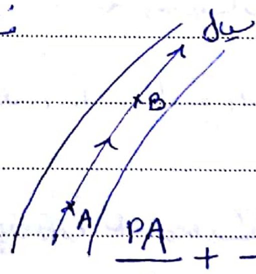
③ ـ فشار استاتیکی: جمع فشار هیدرواستاتیکی و فشار دینامیکی را گویند.

$P_0 = P + V^2/2$
استاتیکی

④ ـ فشار کل: $\frac{P}{\gamma} + \frac{V^2}{2g} + Z$ یا $\frac{P}{\rho} + \frac{V^2}{2} + gZ$

ـ قضیه برنولی:

فشار کل در B
$P_A = P_B$ ← به این شرط که A و B روی یک خط جریان باشند و نیروی جسمی نیروی وزن باشد.
فشار کل در A



$$\frac{P_A}{\rho_A} + \frac{V_A^2}{2} + gZ_A = \frac{P_B}{\rho_B} + \frac{V_B^2}{2} + gZ_B$$

مثال) $P_A = 2\ bar$، $P_B = 1.5\ bar$، $V_A = 2\ m/s$ و $V_B = ?$، $Z_1 - Z_2 = 2(m)$ سرعت V_B را

از نوشتن رابطه برنولی بدست آورید؟ (تمرین در منزل)

$\frac{P}{\rho} \rightarrow$ واحدش چیست؟

Shuter

Scanned by CamScanner

Day. Month. Year. ( )

$$\frac{P}{\rho} \rightarrow \frac{N/m^2}{kg/m^3} = \frac{\frac{kg \cdot m/s^2}{m^2}}{kg/m^3} = \frac{m^4}{m^2 s^2} = \frac{m^2}{s^2} = \left(\frac{m}{s}\right)^2$$

واحد نیرو در سیستم متریک: $1\,(N) = 1\,kg \cdot 1\,m/s^2 = 1\left[\frac{kg \cdot m}{s^2}\right]$

واحد نیرو در سیستم انگلیسی: $1\,lbf = 1\,lb_m \times 32.2\,\frac{ft}{s^2}$

$1\,lbf = 1\,slug \times 1\,\frac{ft}{s^2}$

$1\,slug = 32.2\,lb_m$

واحد فشار در سیستم متریک: $1\,\frac{N}{m^2}$ یا $1\,pa$ — $1000\,pa = 1\,kpa$

تبدیل واحد: $10^6\,pa = 1\,Mpa$

$1\,bar = 100\,kpa = 10^5\,pa$

واحد فشار در سیستم انگلیسی: $\frac{lbf}{in^2}$ یا psi

$1\,atm = 14.7\,psi$

$1\,atm = 1.01325\,bar$

← واحد فشار در سیستم انگلیسی

نکته) فشار را با ارتفاع ستونی از سیال نشان می‌دهند، مثل اینچ آب، متر آب، یا متر جیوه

مثال: 100 kpa چند متر آب می‌باشد => $P = \rho g h \rightarrow ?$

(P = 100 kpa، $\rho = 1000\,\frac{kg}{m^3}$، $g = 9.81$)

=> $h \simeq 10\,m$ آب

تمرین (در منزل):
- 100 kpa چند اینچ جیوه می‌باشد
- 100 kpa چند سانتی‌متر جیوه می‌باشد

Shuter

Scanned by CamScanner

Subject:
Day. Month. Year. ( )

- فشار مطلق (absolute pressure): $P_{abs} = P_0 + \rho g$ ← فشار مطلق

(P_0 ← فشار محیط)

- فشار نسبی (gauge pressure): $P_g = P_{abs} - P_0$

" P_0 → ambient pressure → فشار محیط

- انرژی مکانیکی در ترمودینامیک عامل کار است، ولی کار عبارت است از تبادل انرژی مکانیکی بین سیستم و محیط: کار زمانی انجام می‌شود که نیروی مقاوم در سیستم جابجا شود یا تولید مقاومتی روی محور دوران ایجاد شود.

کار $dW = F.dL$ | $F = P.A$

$\overrightarrow{F}$ — dL

$W = \int P.\underbrace{A.dL}_{V}$

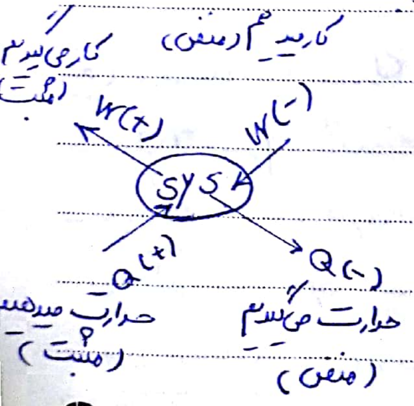
$W = \int F.dL$ | $\boxed{W = \int_V P.dV}$ کار

تمرین) کار را محاسبه کنید؛ اگر که $P = 5V^{1.4}$ باشد!

- ترمودینامیک (۱) - جلسه سوم

- سیستم (system): آنچه را که مورد مطالعه قرار می‌گیرد را گویند.

- محیط (ambient): به فضای پیرامون sys، محیط گفته می‌شود.



- همواره بین سیستم و محیط تبادل انرژی حرارتی صورت می‌گیرد.

- ترمودینامیک: بخشی از علم فیزیک است که از خواص ماده در تبدیل انرژی‌های مختلف به یکدیگر صحبت می‌کند.

Shuter

Scanned by CamScanner

بررسی توده هوا ← میل آماری ← آمار ← (کلاسیک) ترمودینامیک ماکروسکوپیک

ترمودینامیک ← ترمودینامیک ماکروسکوپیک
ترمودینامیک ← ترمودینامیک میکروسکوپیک

انواع سیستم:
- باز control volume
- بسته ← تبادل جرم با محیط وجود ندارد controlled mass یا closed system

خواص ترمودینامیکی (Thermodynamic properties): برای اینکه تبادل انرژی ها را به یکدیگر در یک سیستم بررسی کنیم لازم است که عمل آن sys را با یک سری عوامل قابل تعریف و قابل اندازه گیری مشخص کنیم، که به این عوامل خواص ترمودینامیکی گفته می شود.

انواع خواص: P, T, v (حجم مخصوص), ρ, u, h (آنتالپی ویژه), s (آنتروپی ویژه)

- P, T, v, ρ: قابل اندازه گیری
- u, h, s: قابل تعریف

$$H = mh$$

خواص:
- مبسوط (گسترده) یا مقداری ← (extensive) ← به جرم بستگی دارند ← V, H, ...
- متمرکز (شدتی) ← (Intensive) ← به جرم بستگی ندارند ← T, P, v, h, ...

حالت ترمودینامیکی (Thermodynamic state): حالت ترمودینامیکی سیستم در هر لحظه به وسیله ارزش خواص آن سیستم بیان می شود. ← بیان حالات sys برای P و T

نکته: در سیالات همگن یا تک فاز، حالت ترمودینامیکی به وسیله ارزش خواص آن sys (دو خاصیت مستقل از جرم) شناخته می شوند.

سیکل: اگر sys پس از عبور از یک سری تحولات به حالت اولیه خودش برگردد گفته می شود که sys یک سیکل (چرخه) را طی کرده است.

اصل بقای ماده: ماده به وجود نمی آید و ماده از بین نمی رود مگر آنکه واکنش هسته ای رخ دهد.

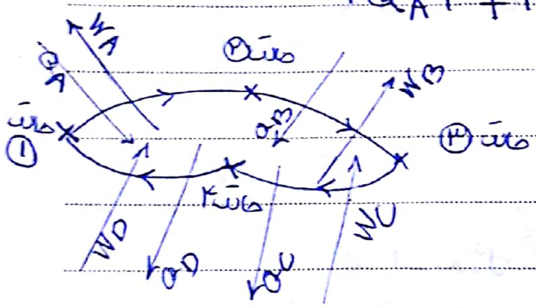
$$m_1 = m_2$$

Scanned by CamScanner

Subject:
Day. Month. Year. ( )

قانون اوّل ترمودینامیک : $\Sigma \delta Q = \Sigma \delta W$

$|Q_A| + |Q_B| - |Q_C| - |Q_D| = |W_A| + |W_B| - |W_C| - |W_D|$



$1\ J = \frac{1}{4.18}\ kCal$

$1\ [BTU] = ?\ [lb_f \cdot ft]$

- نتایج حاصل از قانون اوّل ترمودینامیک :

نتیجه ① اختلاف کار و حرارت در ضمن یک تحول

$Q - W = \Delta U = m\Delta u = m(u_2 - u_1)$

← نام این خاصیت انرژی درونی یا داخلی است

W , Q تابع مسیر هستند

Δu تابع مسیر نیست و فقط

به اختلاف بین حالت آخر و اوّل بستگی دارد.

$Q - W = \Delta E$ رابطه کلی

- ثابت کنید که اختلاف کار و حرارت برابر است با تغییرات یک خاصیت که به مسیر بستگی ندارد. (داخل جزوه)

$Q - W = \Delta U$ ($u_2 - u_1$) → یعنی با حرارت دادن به sys افزایش انرژی داخلی را همراه داریم

اگر $W=0$ ولی مفید نیست چون کاری انجام نشده است.

نکته) اگر داخل یک sys انتقال حرارت بین دو جسم گرم و سرد اتفاق بیفتد، در حقیقت انتقال حرارت نیست چون از مرزهای سیستم عبور نکرده است.

نکته) انرژی داخلی یک sys بسته که از محیط کاملاً ایزوله شده است تغییر پیدا نمی کند.

Shuter

Scanned by CamScanner

Subject:
Day. Month. Year. ( )

- سیستم بسته با تحول های بدون جریان:

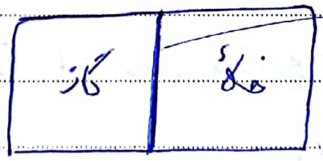
۱- تحول های برگشت پذیر (Reversible) ← دوباره به حالت اولیه برگردد

۲- تحول های برگشت ناپذیر (Irreversible) ← دوباره به حالت اولیه برنمی‌گردد

هرچه آنتروپی بیشتر باشد، فرآیند از حالت ایده‌آل دورتر خواهد شد ← باعث ایجاد آنتروپی می‌گردد

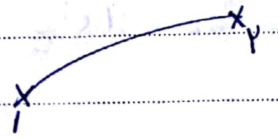
- تحول های برگشت ناپذیر: تحول هایی هستند که پس از کامل شدن یک تحول رفت و برگشت sys به حالت اولیه خودش برنمی‌گردد و برای اینکه به حالت اولیه برگردد لازم است که حتماً روی sys یک کاری انجام دهد.

عوامل برگشت ناپذیری:
- اصطکاک
- انتقال حرارت
- اغتشاش ← اگر ذرات سیال دچار نوسان بشوند
- احتراق
- اختلاط دو ماده
- انبساط آزاد ←
- جریان الکتریکی



اگر دیافراگم پاره شود، انبساط گاز رخ می‌دهد که برگرداندن گازها به حالت اول ممکن نیست.

- سیستم های برگشت پذیر: در هر فاصله زمانی کوچک می‌توان sys را در حالت تعادل فرض کرد.



← اگر یک تحول کوچک انجام دهیم می‌توانیم با یک تغییر کوچک به حالت اول برگردیم که حالت شبه تعادلی می‌باشد.

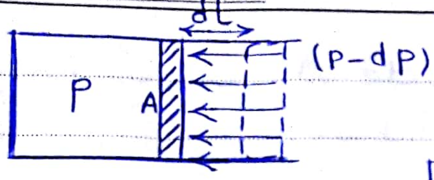
← در هر زمان کوچک می‌توان آن را به حالت تعادلی فرض کرد

معادله انرژی برای کوچکی از تحول: $dQ - dW = du$

پیدا کردن انرژی کل: $\int dQ - \int dW = \int du \rightarrow Q - W = \Delta U$

← این انتگرال گیری و دیفرانسیلی فقط برای حل تحول برگشت پذیر به حساب می‌آید.

Shuter
Scanned by CamScanner

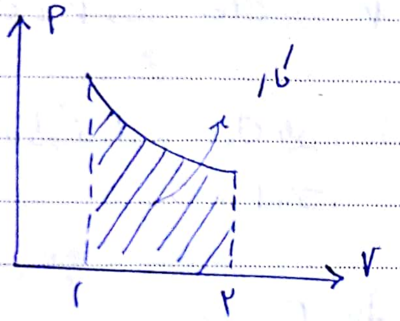


$$dW = P \times A \times dL - dP \times A \times dL$$

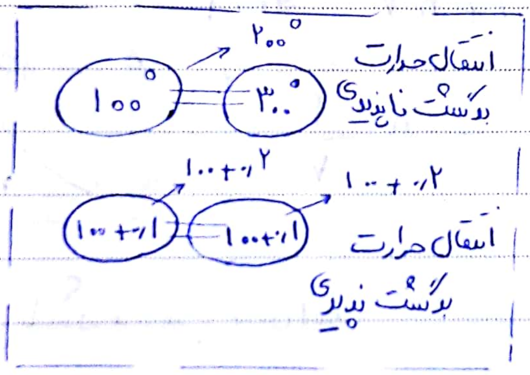
$$dW = P \times dV$$

رابطه کار برای تحول برگشت پذیر: $W = \int P.dV$

نکته) تحول هایی که به آرامی انجام می شوند برگشت پذیر هستند و تحول هایی که سریع انجام می شوند برگشت ناپذیر هستند.

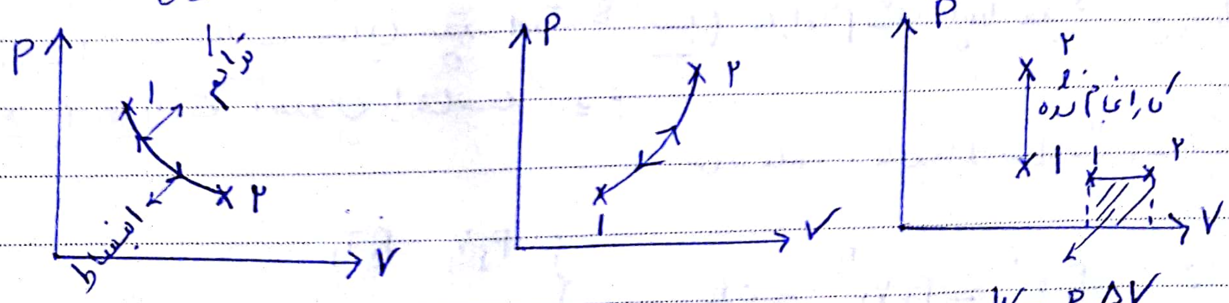


$W = \int P dV =$ مساحت سطح هاشورخورده زیر منحنی



ترمودینامیک (۱) _ جلسه چهارم

برای سیستم بسته: ① _ تحول پلی تروپیک: در این تحول، فشار و حجم تغییر پیدا می کند.



$$W = P \Delta V$$

Scanned by CamScanner

Subject:

Day. Month. Year. ( )

$PV^n = cte = K$ ← n ضریب پلی‌تروپیک

$K = P_1V_1^n = P_2V_2^n$ در انبساط یا انقباض

→ $n = 0$; $PV^0 = cte \rightarrow P = cte$

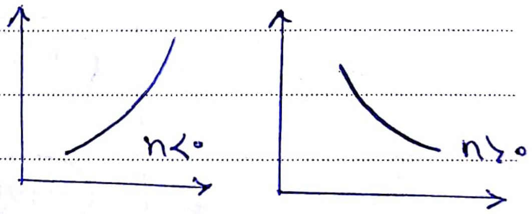
→ $n = \infty$; $PV^\infty = cte \rightarrow P^{1/\infty}V = cte \rightarrow V = cte$

$K\dfrac{V^{-n+1}}{-n+1} = W$ → مقدار کار در تحول پلی‌تروپیک از مقدار روبه رو است

$PV^n = cte \Rightarrow dP(V^n) + nV^{n-1}dV.P = 0$

↓

$\dfrac{dP}{dV} = -n\dfrac{P \rightarrow +}{V \rightarrow +} \quad -$



n اگر مثبت باشد، شیب منفی است.

n اگر منفی باشد، شیب مثبت است.

مثال) 0.9 kg از سیال ($n = 1.25$) از حالت $P_1 = 15$ bar و $T_1 = 25°C$ ضمن تحول پلی‌تروپیک برگشت‌پذیر منبسط می‌شود و به فشار 1bar می‌رسد.

الف) درجه حرارت نهائی چقدر است؟ ب) کار انجام شده را پیدا کنید؟ ج) حرارت تبادل شده؟

د) تغییرات آنتروپی را محاسبه کنید؟

(فرض مسئله: سیال عامل هوا باشد و هوا یک گاز کامل است)

پاسخ: $P_1V_1^n = P_2V_2^n = cte$

$$\begin{cases} P_1V_1 = RT_1 \\ P_2V_2 = RT_2 \end{cases}$$

Shuter

Scanned by CamScanner

$$\frac{P_1V_1}{T_1}=\frac{P_2V_2}{T_2}\rightarrow\frac{P_1T_2}{P_2T_1}=\frac{V_2}{V_1}\rightarrow\frac{P_2}{P_1}=\left(\frac{V_1}{V_2}\right)^n$$

$$\frac{P_2}{P_1}=\left(\frac{P_2\ T_1}{P_1\ T_2}\right)^n\rightarrow\frac{P_2}{P_1}=\left(\frac{P_2}{P_1}\right)^n\left(\frac{T_1}{T_2}\right)^n\rightarrow\left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{n-1}=\left(\frac{T_1}{T_2}\right)^n=\left(\frac{T_2}{T_1}\right)^{-n}$$

$$\frac{T_2}{T_1}=\left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{n-1}{n}}\Rightarrow\frac{T_2}{273.15+250}=\left(\frac{1}{15}\right)^{\frac{1.25-1}{1.28}}\rightarrow\underline{T_2=440\ K}$$

$$W=\frac{P_2V_2-P_1V_1}{1-n}=\frac{R(T_2-T_1)}{1-n}=\frac{\frac{8.314}{28.9}(440-523.15)}{1-1.28}=\underline{199\ kJ}$$

$$Q-W=\Delta U\rightarrow Q-199\,[kJ]=mC_v(T_2-T_1)$$

$$Q=199+0.9\,[kg]\times0.718\left[\frac{kJ}{kg.K}\right]\times(440-523.15)\rightarrow\underline{Q=74.3\ kJ}$$

$$\Delta S=?\rightarrow\Delta S=C_p\,Ln\frac{T_2}{T_1}-R\,Ln\frac{P_2}{P_1}=1.005\,Ln\frac{440}{523.15}-$$

$$\boxed{\frac{8.314}{28.9}\,Ln\frac{1}{15}=0.178\ \frac{kJ}{kg.K}}$$

Shuter

Scanned by CamScanner

Subject:

Day. Month. Year. ( )

تحول‌ها	معادله انرژی برای گاز کامل	معادله انرژی	روابط بین خواص ترمودینامیکی در حالت گاز کامل
حجم ثابت	$W = 0$ و $Q = mc_v \Delta T$	$Q = \Delta U$	$V_1 = V_2$ و $\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}$
فشار ثابت	$Q = mc_p \Delta T$, $Q - W = mc_v \Delta T$	$Q - W = \Delta U$, $Q = \Delta H$	$P_1 = P_2$ و $\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$
پلی تروپیک	$W = \frac{mR(T_2 - T_1)}{1-n}$ $Q - \frac{mR(T_2 - T_1)}{1-n} = mc_v \Delta T$	$Q - W = \Delta U$, $W = \frac{P_2V_2 - P_1V_1}{1-n}$ $Q - \frac{P_2V_2 - P_1V_1}{1-n} = \Delta U$	$P_1 V_1^n = P_2 V_2^n$, $\frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^n$ $\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{n-1}{n}}$ $\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^{1-n}$
آیزنتروپیک یا آدیاباتیک برگشت‌پذیر	$-W = mc_v \Delta T$	$Q = 0$, $-W = \Delta U$ $S_1 = S_2$	$P_1 V_1^\gamma = P_2 V_2^\gamma$, $\gamma = \frac{c_p}{c_v}$ $\frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^\gamma$, $\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}$ $\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^{1-\gamma}$
هم دما یا ایزوترمال $T_1 = T_2$	$dU = mc_v dT$ $\Delta U = mc_v \Delta T$	$Q - W = \Delta U$ $dQ - dW = dU$ $dW = P.dV \rightarrow W = \int P.dV$ $dQ = T.dS \rightarrow Q = \int T.dS$ $Q = T(S_2 - S_1) \Rightarrow T = cte$ ← در برگشت‌پذیر	$T_1 = T_2$ $P_1 V_1 = P_2 V_2$ $\frac{P_1}{P_2} = \frac{V_2}{V_1}$

Scanned by CamScanner

Subject:
Day. Month. Year. ( )

- مثال) در یک سیستم بسته دمای اولیه ۱۵۰ c می باشد. ضمن تحول ایزوترمال فشار از 1 bar به 10 bar می رسد. الف) کار انجام شده چقدر است؟ ب) حرارت انتقال یافته چقدر است؟ ج) تغییرات انرژی چقدر است؟ « با فرض اینکه سیال عامل را هوا بگیریم و m=5kg بگیریم »

پاسخ : هوا را گاز کامل و تحول را برگشت پذیر فرض می کنیم

$$Q = \int T\, ds \Rightarrow Q = T\,\Delta S$$

$$\Delta S = C_p \ln \frac{T_2}{T_1} - R \ln \frac{P_2}{P_1} \Longrightarrow T_1 = T_2 \rightarrow \ln \frac{T_2}{T_1} = \ln(1) = 0$$

$$\Delta S = -mR \ln \frac{P_2}{P_1} \longrightarrow R_{\text{هوا}} = \frac{8{,}314}{28{,}9} \left[\frac{kJ}{kg.k}\right] = 0{,}28$$

$$\Delta S = -5[kg] \times \frac{8{,}314}{28{,}9}\left[\frac{kJ}{kg.k}\right] \times \ln \frac{10}{1} = 3{,}37 \left[\frac{kJ}{kg.k}\right]$$

$$Q = T\,\Delta S \rightarrow Q = (150 + 273{,}15)[k] \times \Delta S \left[\frac{kJ}{kg.k}\right]$$

$$Q = 423{,}15 \times 3{,}31 = 1401{,}41\ [kJ]$$

$$Q - W = \Delta U \Rightarrow 1401{,}41\ [kJ] - W = m C_v \Delta T = 0 \quad (T_1 = T_2)$$

در تحول ایزوترمال برای گاز کامل $\rightarrow W = 1401{,}41 \rightarrow \boxed{Q = W}$

$$T_1 = T_2 \Rightarrow \frac{P_1}{P_2} = \frac{V_2}{V_1} \Rightarrow \frac{P_1 - P_2}{P_2} = \frac{V_2 - V_1}{V_1}$$

$$\Delta V = V_1 \left(\frac{P_1 - P_2}{P_2}\right)$$

Shuter

Scanned by CamScanner

Subject:

Day. Month. Year. ( )

حجم کل

- اگر سیال عامل گاز کامل نباشد: $PV = ZmRT$ یا $Pv = ZRT$

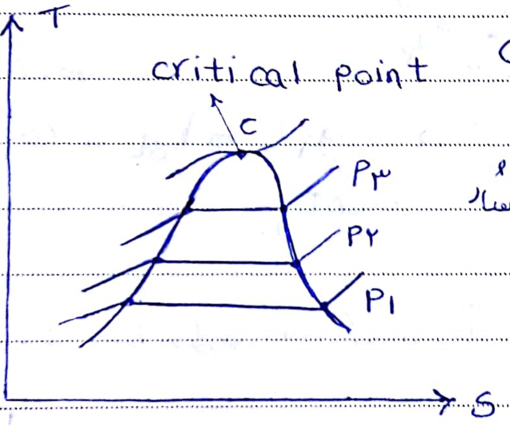
Z : ضریب تراکم پذیری می باشد « ← compressibility_factor »

$Pv = RT$ ← برای گاز کامل ← $v = \frac{RT}{P}$

گاز غیر کامل ← $v = \frac{RT}{P} - v$

$Z = f(P_r, T_r) \Rightarrow P_r = \frac{P}{P_c}$ → reduced pressure فشار کاهیده

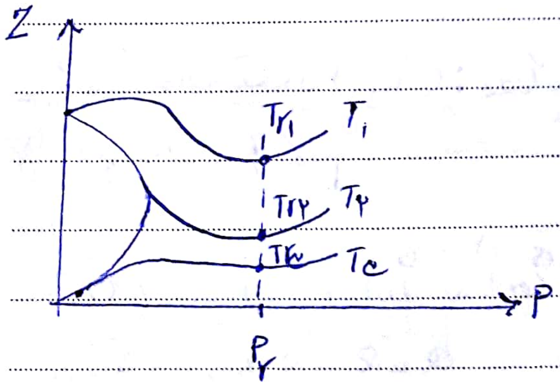
$T_r = \frac{T}{T_c}$ → reduced Tempressure دمای کاهیده

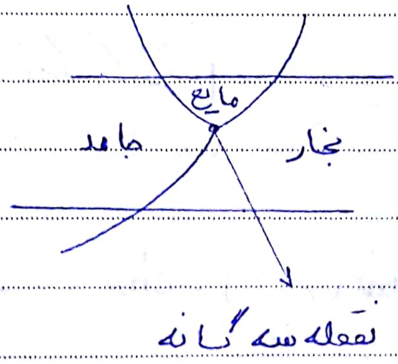


P_c = فشار بحرانی

T_c = دمای بحرانی

در حالت مخلوط بخار و مایع، فشار و دما ثابت می باشند.





- مثال) یک کپسول با حجم $0.1\ m^3$ ، $P = 200$ bar و دمای $T = 25°C$ شامل گاز متان CH_4 است. جرم گاز داخل کپسول را به دست آورید. «گاز را کامل فرض نکنید»

Shuter

Scanned by CamScanner

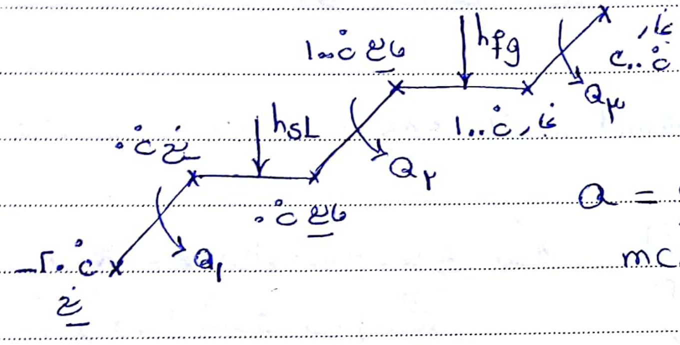
$p = 200\ bar$
$T = 25^\circ C$
$V = 100\ Lit$
$m = ?$

$$PV = ZmRT \xrightarrow{\text{یا}} Pv = ZRT \rightarrow m = \frac{PV}{ZRT}$$

$Z = ?$ ← P_r و T_r را بدست می‌آوریم روی منحنی $Z-P$
Z را به دست می‌آوریم

- مادّه خالص: دارای یک ترکیب شیمیایی است. مثل: H_2O ؛ ولی می‌تواند فازهای مختلف مثل: مایع ـ جامد ـ گاز (بخار) یا مخلوطی از آنها را داشته باشیم.

مثال) در فشار اتمسفر یخ را از دمای $-20^\circ C$ به بخار $300^\circ C$ می‌رسانیم. به یک کیلوگرم از این یخ چقدر حرارت Q داده ایم؟

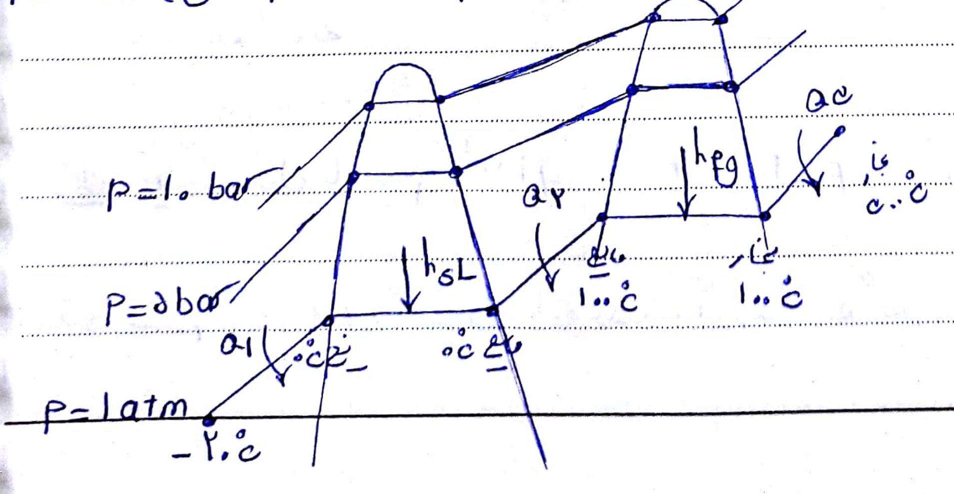


$$Q = \underbrace{Q_1}_{mc\Delta T_1} + m h_{sL} + \underbrace{Q_2}_{mc\Delta T_2} + m h_{fg} + \underbrace{Q_3}_{mc\Delta T_3}$$

- گرمای نهان ذوب (h_{sL}): مقدار حرارتی است که در دمای ثابت به یک کیلوگرم جامد می‌دهیم تا آن را به مایع تبدیل کنیم.

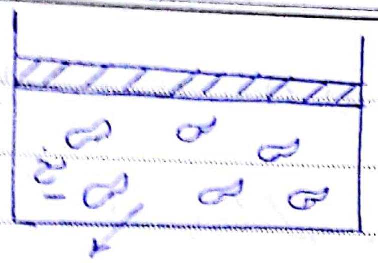
- گرمای نهان تبخیر (h_{fg}): مقدار حرارتی است که در دمای ثابت به یک کیلوگرم مایع می‌دهیم تا آن را به بخار تبدیل کنیم.

- تمرین) مسأله بالا را برای فشارهای: الف) $p = 1\ atm$ ب) $p = 5\ bar$ ج) $p = 10\ bar$
به دست آورید. $Q = ?$

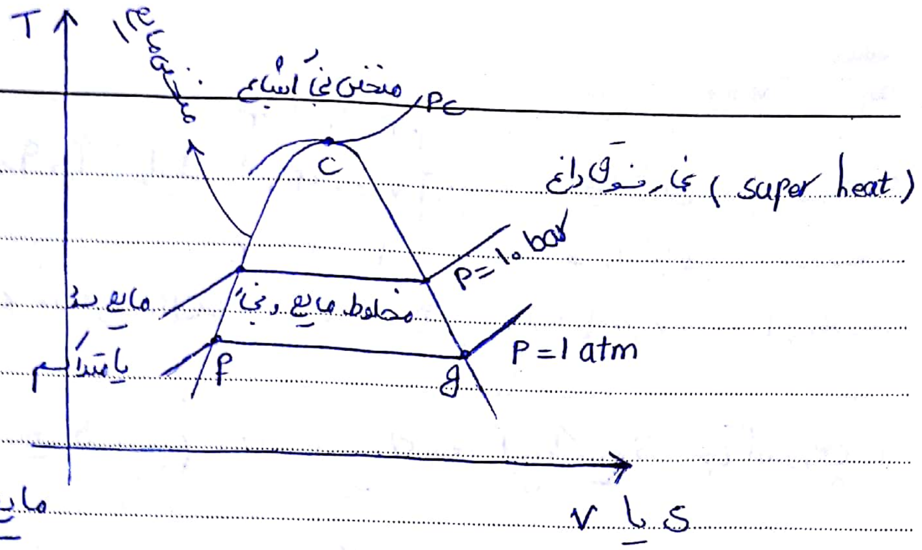


Shuter
Scanned by CamScanner

Subject:
Day. Month. Year. ( )



P = 1atm



$T < T_f$ مایع متراکم

$T = T_f = T_g$ مخلوط مایع و بخار

$T > T_g$ سوپرهیت

T	P	v_f	v_{fg}	v_g	u_f	u_{fg}	u_g	h_f	h_{fg}	h_g	s_f	s_{fg}	s_g
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
100°c	1atm	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.

P	T
.	.
.	.
.	.

$$v_{fg} = v_g - v_f$$

در مایع متراکم و بخار فوق داغ اگر که P و T را داشته باشیم؛ u و s و v و h را نیز داریم.

$$\begin{cases} m = m_f + m_g \\ v = v_f + v_g \\ mv = m_f v_f + m_g v_g \end{cases} \longrightarrow v = \frac{m_f}{m_f + m_g} v_f + \frac{m_g}{m_f + m_g} v_g$$

$$x \text{ یا } X = \frac{m_g}{m_f + m_g}$$ => خشکی بخار یا کیفیت بخار (vaper _ quality)

Shuter

Scanned by CamScanner

مایع اشباع	$x = 0$
بخار اشباع	$x = 1$
مخلوط مایع و بخار	$0 < x < 1$

مثال) سیال در داخل ظرف بسته‌ای دارای شرایط

$$\begin{cases} P = 10\ bar \\ V = 0.14\ m^3 \\ T = 250\ ^\circ C \end{cases}$$

می‌باشد. ظرف را خنک کرده و در نتیجه فشار سیال را به 3.5 bar می‌رسانیم.

الف) شرایط نهایی را مشخص کنید. ب) حرارت تبادل شده را پیدا کنید. ج) آنتروپی را حساب کنید. (تغییرات)

«سیال عامل را آب فرض کنید و آب را خالص در نظر بگیرید»

$250\ ^\circ C > 179.9\ ^\circ C \Rightarrow$ بخار سوپرهیت داریم

پاسخ: از جدول سوپرهیت

$$\begin{cases} v_1 = 0.2328 \\ U = 2711 \\ h = 2944 \\ s = 6.92 \end{cases} \longrightarrow m = \frac{V}{v_1} = \frac{0.14\ m^3}{0.2328} = 0.6014\ kg$$

در حالت دوم

$$\begin{cases} P_2 = 3.5\ bar \\ v_g = 0.5241 \\ v_f = 0.001 \end{cases} \Rightarrow v_2 = v_1 = 0.2328$$

$$v = v_f + v_g \rightarrow v = \frac{m_f}{m_f + m_g} v_f + \frac{m_g}{m_f + m_g} v_g$$

$$0.2328 = 0.001 + x\,(0.5241 - 0.001) \rightarrow x = 0.443$$

کیفیت بخار ↗

$$v = (1 - x) v_f + v_g$$

$$v = v_f + x\, v_{fg}$$

$$u_2 = u_f + x\, u_{fg} = 1458.7\ \frac{kJ}{kg}$$

$$s_2 = s_f + x\, s_{fg} =$$

$$Q = \Delta U = m(u_2 - u_1) = \boxed{-751.41\ kJ}$$

Shuter

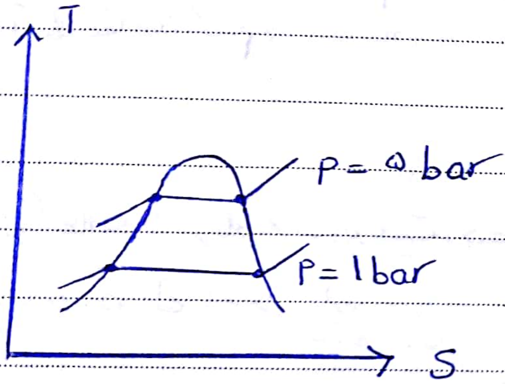
Scanned by CamScanner

Subject:
Day. Month. Year. ( )

– ترمودینامیک (۱) – جلسه ششم

$$v = v_f + x\, v_{fg}$$
$$u = u_f + x\, u_{fg}$$
$$h = h_f + x\, h_{fg}$$
$$s = s_f + x\, s_{fg}$$

مثال) بخار آب از فشار 5 bar از دمای ۳۰۰°C طی تحول آیزنتروپیک به فشار 1 bar می‌رسد. دمای ثانویه چقدر است؟ "جرم بخار آب 1kg در نظر گرفته شود"



پاسخ: حالت ① $\begin{cases} P = 5\ bar \\ T = 300°C \end{cases}$

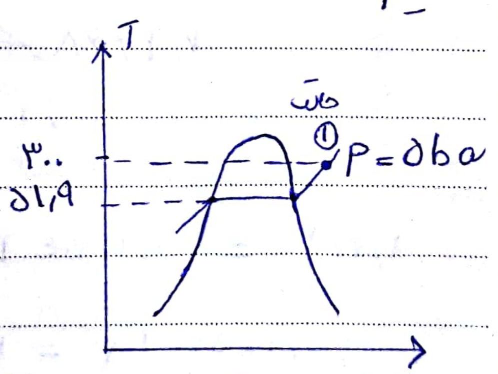
ابتدا باید مشخص کرد که حالت ① در کدام قسمت از منحنی T_s قرار دارد (در حالت اشباع یا مایع متراکم یا بخار فوق داغ).

برای مشخص کردن حالت دمای اشباع سیال آب را در فشار 5 bar بدست می‌آوریم: → $T_{اشباع} = 151.9°C$

بنابراین طبق نمودار زیر خواهیم داشت که:

P = 5 bar

T	v	u	h	s
۲۸۰	۰,۵۰۳۴	۲۷۷۱,۲	۳۰۲۲,۹	۷,۳۸۶۸
۳۰۰				?
۳۲۰	۰,۵۴۱۶	۲۸۳۴,۷	۳۱۳۵,۶	۷,۵۳۸



دمای ۳۰۰ (حالت ۱) در سوپرهیت قرار دارد. بین طبق جدول بالا آنتروپی را در ۳۰۰°C به دست می‌آوریم (چون تحول آیزنتروپیک است).

Shuter

Scanned by CamScanner

از روش میانیابی → $320 - 280$ $7,538 - 7,3864$

$300 - 280$ x $\rightarrow x = 0,0635$

$s_1 = x + 7,3865 \rightarrow s_1 = 7,45 \rightarrow$ $s_1 = s_2 = 7,45 \ \frac{kJ}{kg.K}$

حالت ② $\begin{cases} P = 1 \ bar \\ s = 7,45 \end{cases}$ حالا باید مشخص کنیم که حالت ② در کجا قرار گرفته است؟

برای این مشخص باید s_f و s_g را در حالت اشباع بدست آوریم و $s = 7,45$ را با آنها مقایسه کنیم.

$P = 1 bar$ →(جدول اشباع) $s_f = 1,3026$, $s_g = 7,3594$

بنابراین حالت ② در ناحیه سوپرهیت $\Leftarrow$ $s_2 > s_g$: مقایسه
(بخار داغ) قرار دارد.

از جدول سوپرهیت →

$P = 1 \ bar$	
T	S
100 °C	7,3614
120 °C	7,4668

$T_2 = ? \leftarrow$ $\rightarrow s_2 = 7,45$

روش میانیابی →

$120 - 100$ (20) $T_2 - 100$

$7,4668 - 7,3614$ $7,45 - 7,3614$

$0,1054$ $0,0886$

$1,772 = 0,1054 T_2 - 10,54$

$0,1054 T_2 = 1,772 + 10,54 \rightarrow T_2 = 116,81 \ °C$

$12,312$

Subject:
Day. Month. Year. ( )

تمرین) ۱- مثال قبل را در فرآیند حجم ثابت حل کنید؟

(در منزل)

۲- مثال قبل را در فرآیند فشار ثابت حل کنید. (با این شرایط که $P_1 = P_2 = 5\,bar$ و دمای اولیه $T_1 = 150^\circ C$ است)

۳- مثال قبل را در فرآیند هم دما (ایزوترمال) حل کنید؟

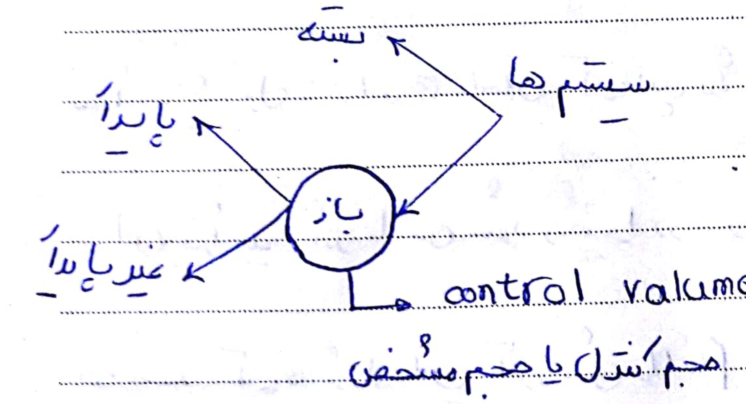
تمرین) یک سیلندر ایزوله شده به سطح مقطع $0.1\,m^2$ محتوی $0.99\,kg$ آب با $15^\circ C$ است.

(در منزل)

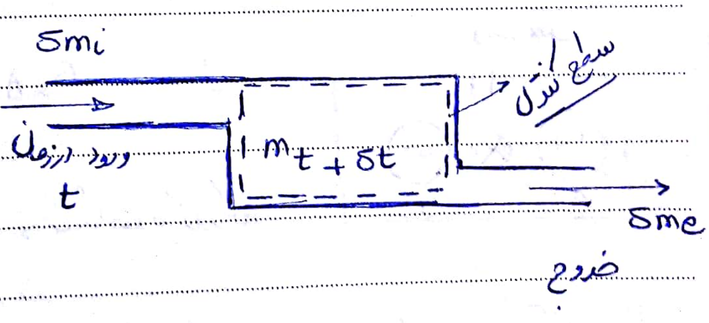
اگر فشار اعمال شده توسط یک پیستون $7\,bar$ باشد مدت زمان لازم برای بالا رفتن پیستون به اندازه‌ی $3\,m$ را پیدا کنید؟ (در صورتیکه حرارت داده شده توسط یک هیتر الکتریکی $5\,kW$ صورت بگیرد)

$$Q - W = \Delta U \xrightarrow[\text{به زمان}]{\text{مشتق نسبت}} \boxed{\dot{Q} - \dot{W} = \dot{m}\,\Delta u}$$

$m\,\Delta u$ ← نسبت به زمان قابل مشتق گیری نیست



- سیستم های باز:



Shuter

Scanned by CamScanner

t جرم سیستم درلحظه $= m_t + \delta m_i$

t+δt جرم سیستم درلحظه $= m_{t+\delta t} + \delta m_e$

$$m_t + \delta m_i = m_{t+\delta t} + \delta m_e$$

$$\lim_{\delta t \to 0} \left(\frac{m_{t+\delta t} - m_t}{\delta t} + \frac{\delta m_e}{\delta t} + \frac{\delta m_i}{\delta t} \right) = 0$$

رابطه اصل بقای جرم برای حجم کنترل

$$\frac{dm_{c.v.}}{dt} + \dot{m}_e - \dot{m}_i = 0$$

اگر چند ورودی و چند خروجی داشته باشیم

$$\frac{dm_{c.v.}}{dt} + \sum \dot{m}_e - \sum \dot{m}_i = 0 \rightarrow \dot{m} \text{ (دبی جرمی)}$$

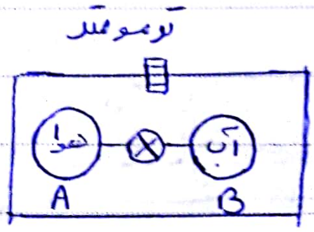
دبی جرمی ($\dot{m}$) : جرم گذرا در واحد زمان

- ترمودینامیک (۱) - جلسه هفتم

دبی جرمی $\dot{m} = \rho C A = \frac{CA}{v}$

دبی حجمی $= CA$

- آزمایش ژول : (انرژی داخلی و آنتالپی برای گاز کامل)



در این فرآیند شیر باز می شود و هوا در مخزن A و B به تعادل می رسد. آقای ژول این آزمایش را انجام داد و مشاهده کرد که ترمومتر تغییر دما را نشان نمی دهد و ثابت است و نتیجه گرفت که حرارتی در طی این فرآیند به آب

Shuter

Scanned by CamScanner

مستقل نمی‌گردد. بنابراین در این فرآیند انرژی داخلی ثابت بوده در صورتیکه حجم و فشار هوا تغییر کرده است. بنابراین در اینجا انرژی داخلی تابع فشار و حجم نبوده بلکه تابعی از دما است و به همین ترتیب آنتالپی نیز تابعی از دما است (برای گاز کامل)

برای گاز کامل → $u = u(T)$, $h = h(T)$, $Q_{1-2} - W_{1-2} = u_2 - u_1$ ($Q_{1-2} = 0$, $W_{1-2} = 0$)

$$u_1 = u_2$$

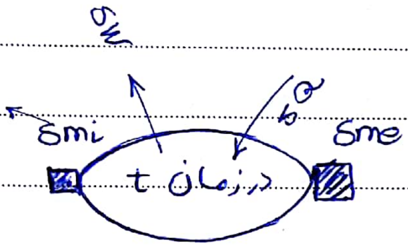
$$du = \frac{\partial u}{\partial T}\Big)_V dT + \frac{\partial u}{\partial V}\Big)_T dV \quad \left(\frac{\partial u}{\partial V}\Big)_T = 0\right)$$

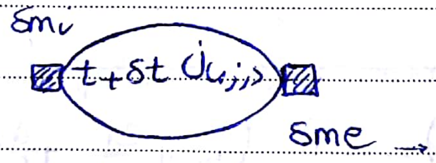
$$u = u(T) \rightarrow du = \frac{\partial u}{\partial T}\Big)_V dT \rightarrow \boxed{du = C_V\, dT}$$

$$dh = \frac{\partial h}{\partial T}\Big)_P dT + \frac{\partial h}{\partial P}\Big)_T dP \rightarrow h = h(T) \rightarrow dh = \frac{\partial h}{\partial T}\Big)_P dT$$

$$\boxed{dh = C_P\, dT}$$

- اصل بقای انرژی برای حجم کنترل: (C.V.)





P_e, T_e, e_e, V_e, h_e, u_e

$$E = me \rightarrow e = u + \frac{c^2}{2} + gZ$$

$$E_1 = E_t + e_i\, \delta m_i$$

$$E_2 = E_{t+\delta t} + e_e\, \delta m_e$$

کار جریان در ورود	$P_iV_i = \delta m_i\, P_i\, V_i$
کار جریان در خروج	$P_eV_e = \delta m_e\, P_e\, V_e$

Shuter

Scanned by CamScanner

$$\delta Q_{c.v.} - \delta W_{c.v.} = E_{t+\delta t} - E_t + e_e\,\delta m_e - e_i\,\delta m_i + P_e v_e\,\delta m_e - P_i v_i\,\delta m_i$$

$$\boxed{Q - W = \Delta E}$$

از یک طرف برای جایگذاری داریم

$$\begin{cases} e + Pv = u + Pv + \dfrac{c^2}{2} + gZ \\ e + Pv = h + \dfrac{c^2}{2} + gZ \end{cases}$$

$$\Rightarrow \boxed{\delta Q_{c.v.} - \delta W_{c.v.} = E_{t+\delta t} - E_t + \delta m_e\left(h_e + \frac{c_e^2}{2} + gZ_e\right) - \delta m_i\left(h_i + \frac{c_i^2}{2} + gZ_i\right)}$$

نرخ زمانی گرمای مبادله: $\lim_{\delta t \to 0} \dfrac{\delta Q}{\delta t} = \dot{Q}_{c.v.}$

نرخ کار: $\lim_{\delta t \to 0} \dfrac{\delta W}{\delta t} = \dot{W}_{c.v.}$

تغییرات انرژی برای حجم کنترل: $\lim_{\delta t \to 0} \dfrac{E_{t+\delta t} - E_t}{\delta t} = \dfrac{dE_{c.v.}}{dt}$

$$\boxed{\dot{Q}_{c.v.} - \dot{W}_{c.v.} = \frac{dE_{c.v.}}{dt} + \Sigma \dot{m}_e\left(h_e + \frac{c_e^2}{2} + gZ_e\right) - \Sigma \dot{m}_i\left(h_i + \frac{c_i^2}{2} + gZ_i\right)}$$

توان حرارتی − نرخ کار = تغییرات انرژی برای حجم کنترل + (انرژی‌های خروجی) در جریان خروجی − (انرژی‌های ورودی) در جریان ورودی

Scanned by CamScanner

Subject:
Day. Month. Year. ( )

حجم کنترل (سیستم باز): { ① فرآیند پایا ـ جریان پایا ← (SSSF) steady _ state
ـ نسبت به زمان تغییر نمی‌کند
② فرآیند یونیفورم ـ جریان یونیفورم ← (USUF) uniform state _ uniform flow
ـ نسبت به زمان تغییر می‌کند، اما فقط تغییرات مکانی دارد }

ـ حالت SSSF :

① ـ جرم داخل حجم کنترل با زمان تغییر نمی‌کند، چون در این فرآیند هیچ چیز در حجم کنترل تغییر پیدا نمی‌کند

$$\frac{dm_{c.v.}}{dt} = 0 \xrightarrow[\text{بقای جرم}]{\text{از معادله}} \Sigma \dot{m}_e = \Sigma \dot{m}_i$$

② ـ در حجم کنترل انرژی نسبت به زمان تغییر پیدا نمی‌کند.

$$\frac{dE_{c.v.}}{dt} = 0 \longrightarrow \dot{Q} - \dot{W} = 0 + \Sigma \dot{m}_e \left(h_e + \frac{c_e^2}{2} + g z_e \right) - \Sigma \dot{m}_i \left(h_i + \frac{c_i^2}{2} + g z_i \right)$$

$$\dot{Q} - \dot{W} = \Sigma \dot{m} \left[(h_e - h_i) + \frac{1}{2} (c_e^2 - c_i^2) + g (z_e - z_i) \right]$$

یا

$$\dot{Q} - \dot{W} = \Sigma \dot{m} \left[\Delta h + \Delta Ke + \Delta Pe \right] = \Delta H + \Delta KE + \Delta PE$$

③ ـ اگر جریان تکی باشد یعنی یک جریان ورودی و یک جریان خروجی باشد، می‌توان نوشت:

برای واحد جرم (معادله انرژی)

$$\boxed{q - w = \Delta h + \Delta Ke + \Delta Pe}$$

ـ چند مثال: (برای SSSF)

۱ـ کمپرسور	۵ـ بویلر و تبخیر کننده
۲ـ توربین	۶ـ کندانسور (چگالنده)
۳ـ شیپوره	۷ـ شیر نیمه بسته یا تحول خفگی
۴ـ دیفیوزر	

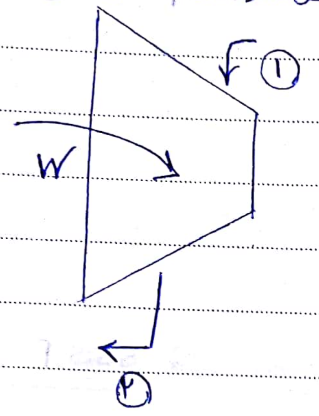
Shuter

Scanned by CamScanner

Subject:

Day. Month. Year. ( )

۱- کمپرسور (compressor): دستگاهی است که به آن کار داده می‌شود تا فشار سیال را افزایش بدهد (آن را متراکم کنند)



"از نوع پیستونی یعنی با حرکت شعاعی و محوری"

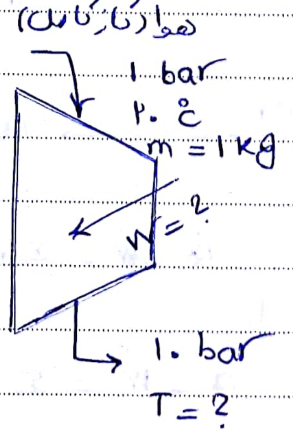
$Q \cong 0$ یا $Q \neq 0$

$$\cancel{Q} - W = \Delta H + \cancel{\Delta K_E} + \cancel{\Delta P_E} \Rightarrow \boxed{-W = \Delta H} \Rightarrow -W = m\Delta h$$

اگر سیال گاز کامل باشد: $-W = mC_p\Delta T$

اگر سیال گاز کامل نباشد یا ماده خالص باشد: $-W = m \times (h_2 - h_1)$

مثال-



پاسخ: تحول در حالت ایده‌آل را آیزنتروپیک می‌گیریم:

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \Rightarrow \frac{T_2}{293.15} = \left(\frac{10}{1}\right)^{\frac{1.4-1}{1.4}}$$

$$\Rightarrow \boxed{T_2 = 558\,K}$$

$$-W = mC_p\Delta T \Rightarrow -W = 1\,[kg] \times 1.004 \left[\frac{kJ}{kg \cdot K}\right] \times \Delta T$$

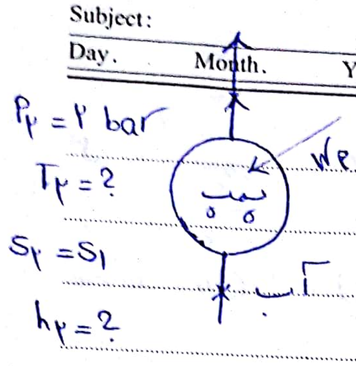
۲۶۵

$$\Delta T = 558 - 293 \rightarrow \boxed{W = -266.06\,kJ}$$

تمرین (در منزل): توان کمپرسور را در مثال بالا به دست آورید؟

$-\dot{W} = \dot{m}\,C_p\,\Delta T$ → راهنمایی

Subject:
Day. Month. Year. ( )



- تمرین (در منزل): در پمپ مقابل، تحول را آیزنتروپیک فرض کرده و h_2 را بدست آورید.

راهنما: $P_1 = 1$ bar, $T_1 = 20\,^\circ C$ → S_1 , و $-W_p = m(h_2 - h_1)$

$W_p = ?$

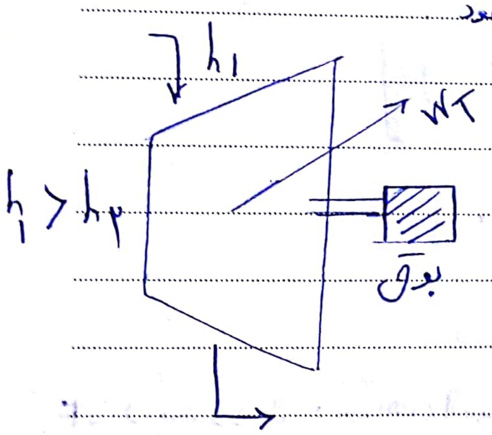
۲- توربین:

Turbine → (سیال عامل هوا) گازی → $-W = m C_p \Delta T$

Turbine → (سیال عامل H_2O) بخار → $-W = m(h_2 - h_1)$

توربین دستگاهی است که آنتالپی ورودی سیال در آن کاهش می‌یابد و توربین کار می‌دهد. در توربین سیال منبسط می‌شود.

- تمرین (در منزل): ۴ صفحه تحقیق در مورد توربین‌ها (انواع) انجام شود.



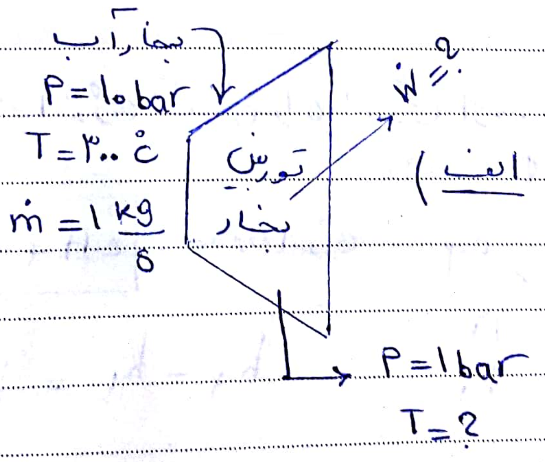
معادله انرژی: $-W = \Delta H$

$Q = 0$

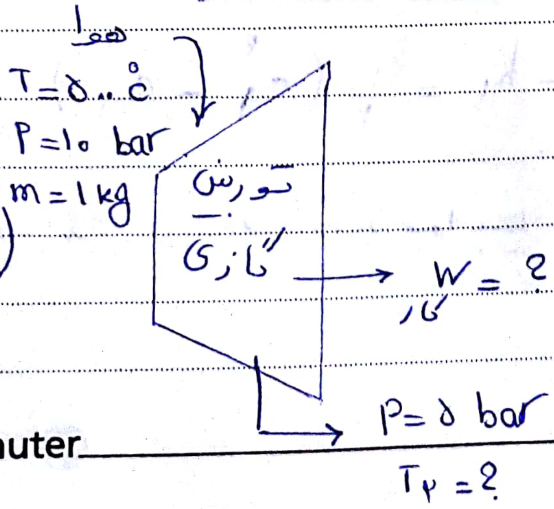
$\Delta K_E = 0$

$\Delta P_E = 0$

- تمرین (در منزل): الف)



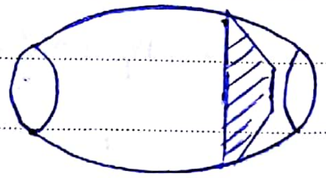
ب)



Shuter

Scanned by CamScanner

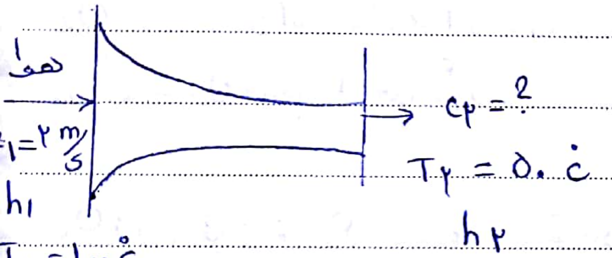
۳ـ شیپوره (Nozzel) : انرژی از جنس فشار یا آنتالپی را به انرژی جنبشی تبدیل می‌کند. مثال: نازل در خروجی موتور هواپیما.



$$Q - W = \Delta H + \Delta K_E + \Delta P_E$$

معادله انرژی شیپوره: $\boxed{\Delta H + \Delta K_E = 0}$ $\longrightarrow m(h_2 - h_1) = \frac{1}{2} m (c_2^2 - c_1^2)$

$$\boxed{h_2 - h_1 = \frac{1}{2}(c_2^2 - c_1^2)}$$



ـ تمرین (در منزل):

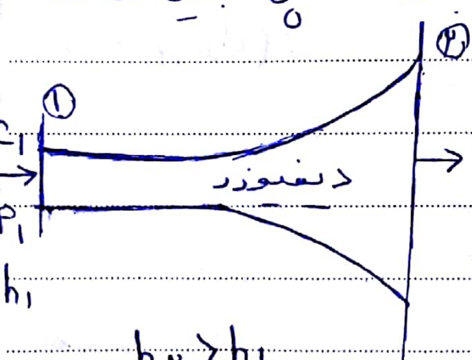
$$\frac{1}{2}(c_2^2 - c_1^2) = c_p(T_2 - T_1)$$

$c_2 > c_1$

$$\frac{J \text{ یا } m^2/s^2}{1000} \quad [kJ]$$

$$\frac{\frac{1}{2}(c_2^2 - 4)}{1000} = 1.004 \left[\frac{kJ}{kg.k}\right] \times (100 - 50) [kJ]$$

۴ـ دیفیوزر: دستگاهی است که انرژی جنبشی را به انرژی از جنس آنتالپی تبدیل می‌کند.



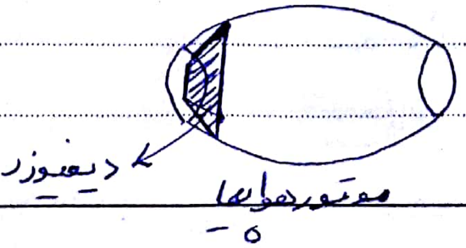
معادله انرژی: $\boxed{\Delta H + \Delta K_E = 0}$

$$h_2 - h_1 = \frac{1}{2}(c_1^2 - c_2^2)$$

$h_2 > h_1$

$c_2 < c_1$

کاربرد: در دهانه موتور هواپیما

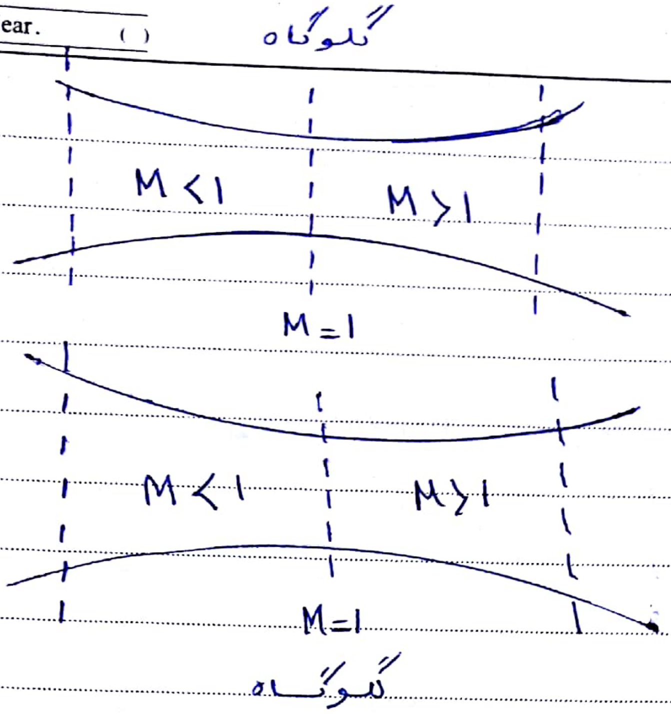


Shuter

Scanned by CamScanner

Subject:

Day. Month. Year. ( )



- نازل همگرا و واگرا

$M = \frac{V}{C}$

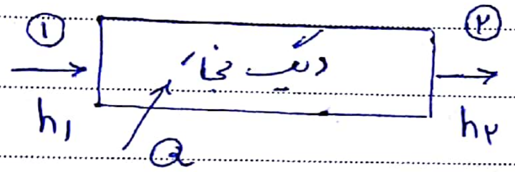
ماخ

- دیفیوز همگرا و واگرا

نیروگاه بخار

۵) بویلر (evaporator) :

سیکل تبرید

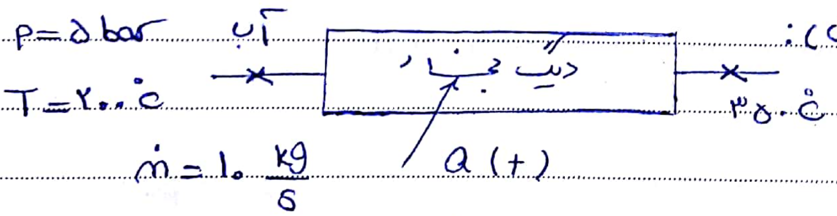


$h_2 > h_1$

$T_2 > T_1 \Rightarrow$ $\boxed{Q = \Delta H}$ معادله انرژی

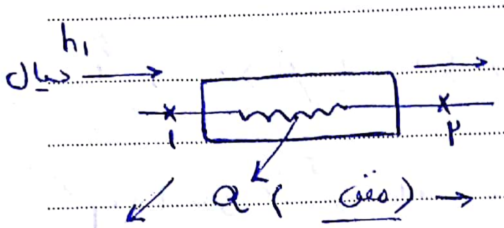
$P_2 \simeq P_1$

تمرین (در شکل):



- ترمودینامیک (۱) - جلسه هشتم

- کندانسور : (condunsor)



$Q < 0$ (منفی) → از sys به محیط

معادله انرژی : $Q = \Delta H = m(h_2 - h_1)$ منفی

حرارت از سیستم گرفته می شود

"حرارت از سیال گرفته می شود و آنتالپی سیال کاهش می یابد" $h_2 < h_1$

$T_2 < T_1$

$h = h(P, T) \rightarrow h = u + PV$

یعنی با افزایش آنتالپی افزایش دما خواهیم داشت و با کاهش آنتالپی کاهش دما خواهیم داشت.

آنتالپی تابعی از فشار و دما است

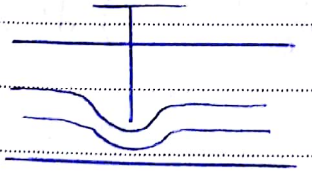
سیستم بسته $Q - W = \Delta U + \Delta KE + \Delta PE + \Delta(\ ) + \Delta(\ ) + \Delta(\ )$

سیستم باز $Q - W = \Delta H + \Delta KE + \Delta PE + \Delta(\ ) + \Delta(\ ) + \Delta(\ )$

"کاربرد کندانسور : در نیروگاه ها، چاه و سیکل های تبرید مثل یخچال"

مبدل حرارتی (heat exchanger)

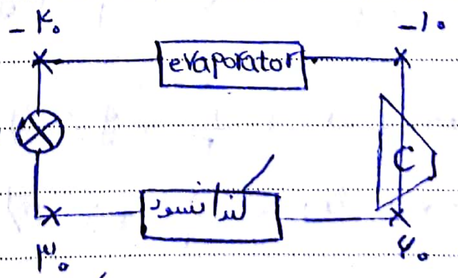
۲- شیرها نیمه بسته ، شیرهای خفقانی انبساط (Throttling process) یا فرایند خفقانی :



کاربرد شیرهای نیمه بسته در سیکل یخچال می باشد.

T_1 T_2

$T_2 < T_1$



معادله انرژی : $Q - W = \Delta H + \Delta KE + \Delta PE$ (Q، W، ΔKE و ΔPE خط خورده‌اند؛ = 0) شیر انبساط

$\Delta H = 0$

$H_2 - H_1 = 0 \rightarrow H_2 = H_1$

$h_2 = h_1$ ⟸ بنابراین تحول خفقانی را تحول آنتالپی ثابت نیز می گویند

Shuter

Scanned by CamScanner

Subject:

Day. Month. Year. ( )

- ضریب ژول تامسون :

$$\mu = \frac{\partial T}{\partial P}\Big)_h = \frac{T_2 - T_1}{P_2 - P_1}\Big)_h$$

اگر $\mu > 0$ یا $\mu < 0$ باشد، با تغییر فشار کم تغییرات دمای زیاد داریم یعنی با انبساط کم، دما خیلی کاهش می‌یابد بعضی از سیال‌ها مثل سیال‌های تبرید این خاصیت را دارند

برای گاز کامل :

$$h_2 - h_1 = 0 \longrightarrow c_p (T_2 - T_1) = 0 \longrightarrow T_2 - T_1 = 0$$

$$T_1 = T_2$$

$$\mu = \frac{T_2 - T_1}{P_2 - P_1}\Big)_h = 0$$

(چون صورت صفر است)

uniform state - uniflow : این فرآیند از جمله فرآیندهایی است که با پر شدن و خالی شدن مخزن همراه است. حجم کنترل نسبت به چارچوب مختصات حرکت نمی‌کند. حالت جرم در حالت حجم کنترل با زمان تغییر می‌کند. انرژی سیستم نیز نسبت به زمان تغییر پیدا می‌کند.

از معادله بقای جرم انتگرال می‌گیریم :

$$\int \frac{dm_{c.v.}}{dt}\,dt - \int \Sigma \dot{m}_i\,dt + \int \Sigma \dot{m}_e\,dt = 0$$

$$\longrightarrow \boxed{(m_2 - m_1)_{c.v.} = \Sigma m_i - \Sigma m_e}$$

→ معادله بقای جرم برای usuf

$$\int \dot{Q}_{c.v.}\,dt = Q_{c.v.}$$

$$\int \dot{W}_{c.v.}\,dt = W_{c.v.}$$

$$E_{c.v.} = m \cdot e_{c.v.} = m\left(u + \frac{c^2}{2} + gZ\right)$$

انرژی حجم کنترل

$$E_1 = m_1\left(u_1 + \frac{c_1^2}{2} + gZ_1\right) = 0$$

$$E_2 = m_2\left(u_2 + \frac{c_2^2}{2} + gZ_2\right) =$$

$$m_2(u_2 + 0 + 0) = m_2 u_2$$

$$\int_0^t \Sigma \dot{m}_e (\quad).dt = \Sigma m_e (\quad)$$

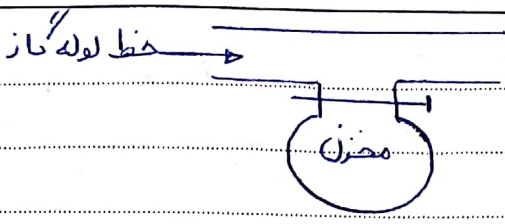
$$\int_0^t \Sigma \dot{m}_i (\quad).dt = \Sigma m_i (\quad)$$

Shuter

Scanned by CamScanner

Subject:
Day. Month. Year. ( )

مثال)



$m_2 - m_1 = m_i - m_e$

حالت ①: مخزن خالی $m_1 = 0$

حالت ②: مخزن پر m_2

شیر باز می‌شود m_i وارد می‌شود سپس مخزن پر می‌شود، جرمی از مخزن خارج نمی‌شود ($m_e = 0$)

معادله انرژی: ← $m_2 - m_1 = m_i - m_e$ ($m_1 \to 0$، $m_e \to 0$)

$$\boxed{m_2 = m_i}$$

معادله انرژی برای حالت usuf: $Q_{c.v.} - W_{c.v.} = (E_2 - E_1) + \sum m_e \left(h_e + \frac{c_e^2}{2} + g z_e\right) - \sum m_i \left(h_i + \frac{c_i^2}{2} + g z_i\right)$

بنابراین → $0 - 0 = m_2 u_2 - 0 - 0 - m_i h_i$

$m_2 u_2 = m_i h_i \longrightarrow \boxed{u_2 = h_i}$

حال: اگر سیال گاز کامل باشد: $u_2 = h_i \Rightarrow c_v T_2 = c_p T_i$

$T_2 = \frac{c_p}{c_v} T_i \Rightarrow T_2 = \gamma T_i \Rightarrow P_2 V_2 = m_2 R T_2$ (?)

$$m_2 = \frac{P_2 V_2}{R T_2}$$

برای مسائل usuf:

① معادله انرژی

② معادله بقای جرم

$T_i = \frac{T_1 + T_2}{2}$ در ورود

③ در خروج $T_e = \frac{T_1 + T_2}{2}$

④ $m_1 = \frac{P_1 V_1}{R T_1}$

⑤ $m_2 = \frac{P_2 V_2}{\ }$

Shuter

Scanned by CamScanner

Subject:

Day. Month. Year. ( )

تمرین ۱) مخزنی به حجم $1\ m^3$ دارای گاز CO_2 به فشار 1atm و دمای 20°C می‌باشد که مخزن باز می‌شود و با ورود گاز CO_2 به داخل فشارش به 10atm می‌رسد. انتقال حرارت از مخزن به محیط 100kJ می‌باشد.

الف) تغییرات انرژی داخلی این گاز را بدست آورید؟

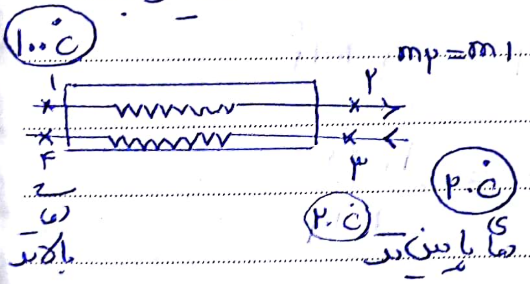
ب) γ (نسبت گرماهای ویژه) را بدست آورید؟

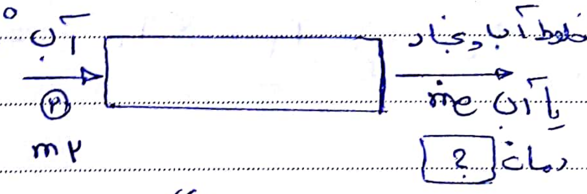
ج) تغییرات آنتروپی را بدست آورید؟

تمرین ۲) ظرفی به حجم 800 Lit دارای گاز هیدروژن با فشار 4 Mpa است. در صورتیکه نقطه‌ای از ظرف سوراخ شود تا فشار آن به 2 Mpa برسد و در ضمن این تحول 20 kJ حرارت انتقال یابد. جرم هیدروژن خارج شده را محاسبه کنید؟ (C_p و C_v را از جدول بدست آورید)

مثال‌هایی از usuf : هیتر باز

هیتر بسته





معادله بقای جرم : $m_1 + m_2 = m_3$

معادله بقای انرژی : $m_1 h_1 + m_2 h_2 = m_3 h_3$

وقتی Q صفر باشد، اگر Q داشت به رابطه اضافه میشه

معادلات بقای جرم
$$\begin{cases} m_1 = m_2 \\ m_3 = m_4 \end{cases}$$

معادله بقای انرژی : $m_1 (h_1 - h_2) = m_3 (h_4 - h_3)$

وقتی Q صفر است، اگر Q داشت وارد رابطه میشود

$Q = -100\ kJ$

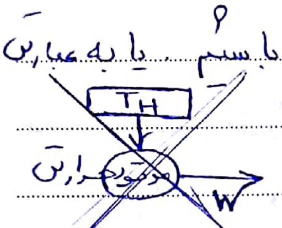
Subject:
Day. Month. Year. ( )

- ترمودینامیک (۲) - جلسه نهم

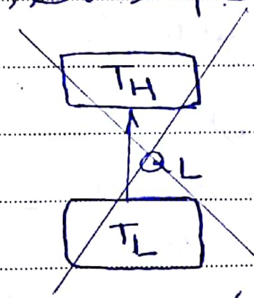
- قانون دوم ترمودینامیک: با توجه به تجربیات می‌دانیم که تناقض نداشتن یک سیکل با قانون اول دلیل بر آن نیست که آن سیکل حتماً اتفاق بیفتد. پس هنگامی سیکل قابل وقوع است که با قانون اول و دوم همخوانی داشته باشد. طبق قانون دوم تحول فقط در یک جهت مشخص اتفاق می‌افتد و در خلاف آن قابل وقوع نیست.

- بیان‌های کلاسیک از قانون دوم ترمودینامیک:

۱- بیان کلوین-پلانک: غیرممکن است که موتور حرارتی با راندمان حرارتی ۱۰۰٪ داشته باشیم. یا به عبارتی غیرممکن است که یک ماشین فقط با یک منبع حرارتی کار کند.



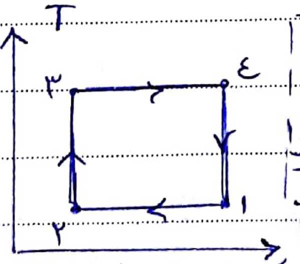
۲- بیان کلازیوس: غیرممکن است بدون اینکه کاری روی سیال عامل انجام شود، حرارت از منبع سرد به منبع گرم حرکت کند. هیچ آزمایشی تا حال منجر به نقض قانون دوم نشده است؛ بنابراین قانون دوم بر مشاهدات تجربی استوار است.



۳- بیان کارنو: ← ① قضیه اول کارنو: نمی‌توان موتوری ساخت که بین دو منبع مشخص کار کند و راندمان آن بیشتر از راندمان موتور برگشت‌پذیری باشد که بین آن دو منبع کار می‌کند.

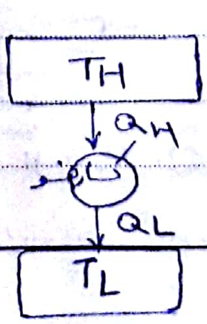
- سیکل کارنو: (سیکل ایده‌آل)

۲ تا تحول آیزنتروپیک (s ثابت)
۲ تا تحول ایزوترمال برگشت‌پذیر



② قضیه دوم کارنو: همه موتورهای (برگشت‌پذیر) که در سیکل کارنو بین دو منبع حرارتی با درجه ثابت مشخص کار می‌کنند، راندمان یکسان خواهند داشت. چون راندمان ماشین کارنو فقط به دمای (درجه حرارت) منبع گرم و سرد بستگی دارد (به Q_H و Q_L بستگی ندارد).

راندمان ماشین کارنو: $\eta = 1 - \frac{T_L}{T_H}$

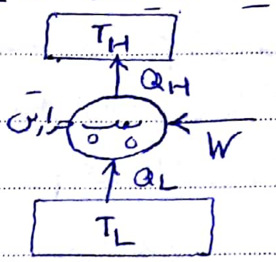


Shuter
Scanned by CamScanner

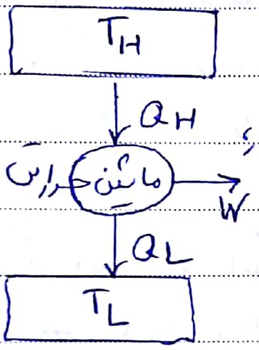
Subject:

Day. Month. Year. ( )

- پمپ حرارتی چیست؟ (Heat pump) دستگاهی است که حرارت را از منبع سرد می گیرد و به منبع گرم می دهد که برای این کار باید به پمپ کار بدهیم. مثل: سیکل تبرید ترا کمی یا یخچال های ترموالکتریکی.



- ماشین حرارتی چیست؟ (Heat engine) دستگاهی است که حرارت را از منبع گرم می گیرد، بخشی از آن را به کار تبدیل می کند و بخش دیگر آن را به منبع سرد می دهد.



مثل: موتور احتراق داخلی (بنزینی، دیزلی، توربین گاز، توربین بخار و ترموالکتریک).

راندمان ماشین حرارتی $e_t = \frac{\text{انرژی قابل استفاده قابل فروش}}{\text{حرارت داده شده}} = \frac{W}{Q_H}$

$$e_t = \frac{W}{Q_H} = \frac{Q_H - Q_L}{Q_H} = 1 - \frac{Q_L}{Q_H}$$

coefficient of performance

پمپ حرارتی (ضریب عملکرد پمپ حرارتی)

$$COP = \frac{\text{انرژی قابل فروش}}{\text{انرژی هزینه ساز}} = \frac{Q_L}{W} = \frac{Q_L}{Q_H - Q_L} = \frac{1}{\frac{Q_H}{Q_L} - 1}$$

$$COP_{\text{ماشین کارنو}} = \frac{1}{\frac{T_H}{T_L} - 1}$$

نکته) هرگاه COP برای یخچال ها و سیکل های تبرید به کار برده می شود.

نکته) از این سیکل برای سیستم گرمایش هم استفاده می شود. (سیکل پمپ حرارتی)

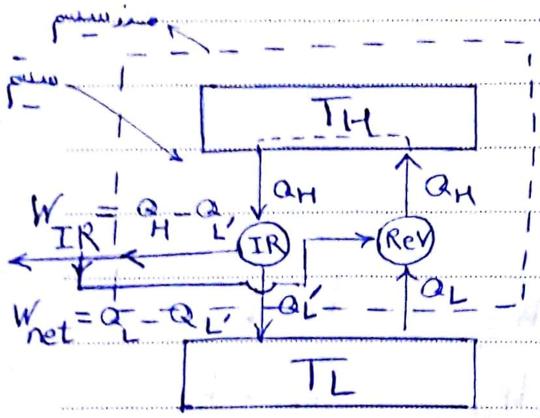
هدف: Q_H ← حرارت را به جای گرمتر بدهیم.

- سیال عامل (ماده فعال): ماده ای است که حرارت به آن یا از آن منتقل می شود. مثل: هوا در موتورهای احتراق داخلی - آب در نیروگاه بخار - گاز فریون در سیکل تبرید

Shuter

Scanned by CamScanner

- منبع حرارتی: جسمی است که حرارت می‌تواند به آن یا از آن به صورت نامحدود منتقل شود، بدون اینکه دمای آن تغییر کند. ← منبع حرارتی گرم یا سرد.



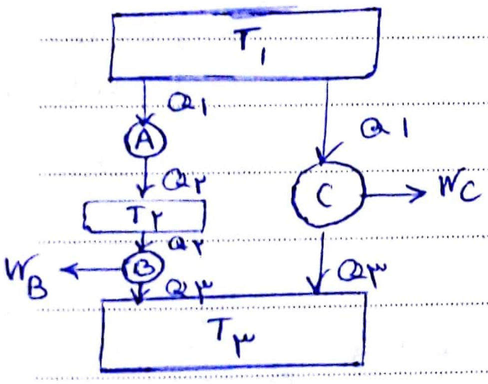
- اثبات قضیه اول کارنو:

برای اثبات؛ یک فرض نادرست می‌کنیم؛
فرض: $W_{IR} > W_{rev}$, $Q_{L'} > Q_L$

نتیجه می‌شود که سیستم با یک منبع حرارتی تبادل حرارت دارد و کار می‌دهد که این ناقض قانون دوم می‌شود. پس فرض نادرست است و عکس آن درست است

$\rightarrow W_{rev} > W_{IR}$

- اثبات قضیه دوم کارنو: می‌خواهیم ثابت کنیم که ← $e_{\text{کارنو}} = 1 - \frac{T_L}{T_H}$



$$\eta_t = 1 - \frac{Q_L}{Q_H} = \psi(T_L, T_H)$$

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \psi(T_1, T_2) \quad , \quad \frac{Q_1}{Q_3} = \psi(T_1, T_3)$$

$$\frac{Q_2}{Q_3} = \psi(T_2, T_3)$$

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \psi(T_1, T_2) = \frac{f(T_1)}{f(T_2)} \quad \Big| \quad \frac{Q_1}{Q_3} = \frac{Q_1}{Q_2} \times \frac{Q_2}{Q_3} \rightarrow \psi(T_1, T_3) = \psi(T_1, T_2) \times \psi(T_2, T_3)$$

$$\frac{Q_2}{Q_3} = \psi(T_2, T_3) = \frac{f(T_2)}{f(T_3)}$$

(* طرف دوم تابع T_2 نمی‌باشد پس طرف اول تابع T_2 نمی‌باشد)

$$\frac{Q_1}{Q_3} = \psi(T_1, T_3) = \frac{f(T_1)}{f(T_3)} \Longrightarrow \frac{Q_H}{Q_L} = \frac{f(T_H)}{f(T_L)} = \frac{T_H}{T_L} = \frac{e^{T_H}}{e^{T_L}}$$

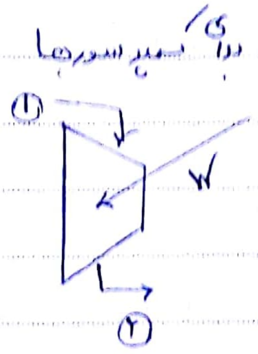
$$\Longrightarrow \boxed{\eta_{t\,\text{کارنو}} = 1 - \frac{T_L}{T_H}}$$

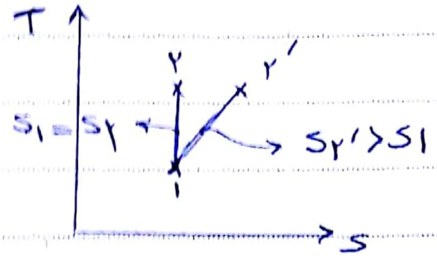
Scanned by CamScanner

Subject:
Day, Month, Year, ( )

- راندمان سیستم‌ها:

۱ـ برای کمپرسورها





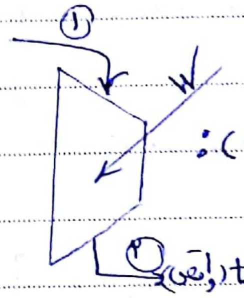
$$\eta_c = \frac{\text{کار آیزنتروپیک}}{\text{کار واقعی}} = \frac{W_{IS}}{W_a} = \frac{h_2 - h_1}{h_{2'} - h_1}$$

1 ـ 2 تحول آیزنتروپیک

1 ـ 2' تحول واقعی

تمرین (۱):

هوا
$t = 20°C$
$P = 1\ bar$

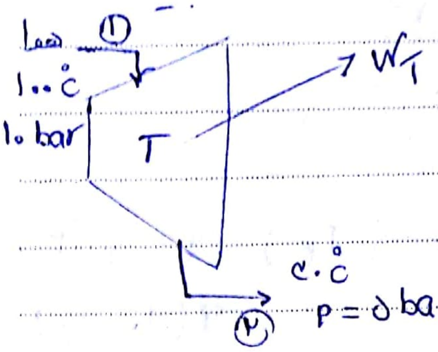


واقعی $t = 100°C$
$P = 10\ bar$

$\eta_c = ?$ ← محاسبه کنید؟

تمرین (۲):

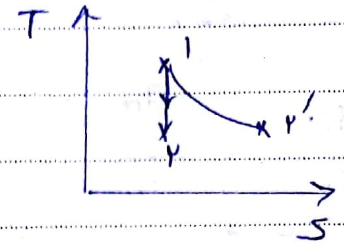
۲ـ برای توربین‌ها



واقعی $\left\{ \begin{array}{l} 20°C \\ P = 5\ bar \end{array} \right.$

$\eta_T = ?$

$$\eta_T = \frac{\text{کار واقعی توربین}}{\text{کار آیزنتروپیک}} = \frac{h_1 - h_{2'}}{h_1 - h_2}$$



۳ـ راندمان شیپوره یا نازل → $\eta_N = \frac{C_{2'}^2 - C_1^2}{C_2^2 - C_1^2}$

$C_{2'}$ سرعت واقعی در خروج

C_2 سرعت با تحول آیزنتروپیک در خروج

۳ـ راندمان دیفیوزر → $\eta_D = \frac{P_{2'} - P_1}{P_2 - P_1}$

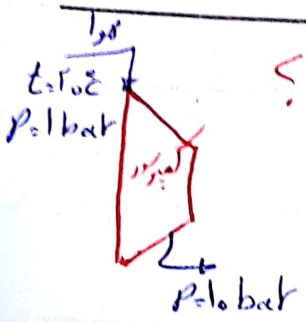
P_2 فشار با تحول آیزنتروپیک در خروج

Shuter

Scanned by CamScanner

Subject:
Date: ۹۷,۹,۱۳

تمرین: محاسبه کنید. دمای خروجی واقعی $t_2 = ?$ اگر $\eta_c = 0.9$ باشد.



حل:

~~$\eta_c = \frac{W_{Is}}{W_a} = \frac{c_p(T_{2s}-T_1)}{c_p(T_{2a}-T_1)}$~~

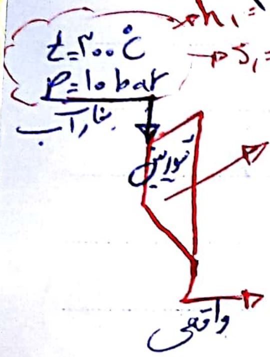
$$\frac{T_{2s}}{T_1} = \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \rightarrow \frac{T_{2s}}{293.15} = \left(\frac{10}{1}\right)^{\frac{1.4-1}{1.4}} \rightarrow T_{2s} = 565.7\ K$$

$$\eta_c = \frac{W_{Is}}{W_a} = \frac{c_p(T_{2s}-T_1)}{c_p(T_{2a}-T_1)} \Rightarrow 0.9 = \frac{565.7 - 293.15}{T_{2a} - 293.15} \Rightarrow T_{2a} = 595.98\ K$$

$$t_2 = 322.44\ °C$$

تمرین:

$\eta_T = ?$ انبساط توربین



$h_1 = 3051.2\ \frac{kJ}{kg}$

$s_1 = 7.1229\ \frac{kJ}{kg.K}$

$h_{2is} = ?$

$\begin{cases} t = 200°C \\ P = 5\ bar \end{cases} \rightarrow h_{2a} = 2855.4\ \frac{kJ}{kg}$

s	h	t
6.9759	3423.8	500
7.2589	3644.5	600

$$\frac{7.2589 - 6.9759}{7.2589 - 7.1229} = \frac{3644.5 - 3423.8}{3644.5 - x} \qquad x = h_{2is}$$

$$h_{2is} = 3554.67$$

$$\eta_T = \frac{W_a}{W_{Is}} = \frac{m(h_{2a}-h_1)}{m(h_{2is}-h_1)}$$

$$s_2 = s_1 = 7.1229$$

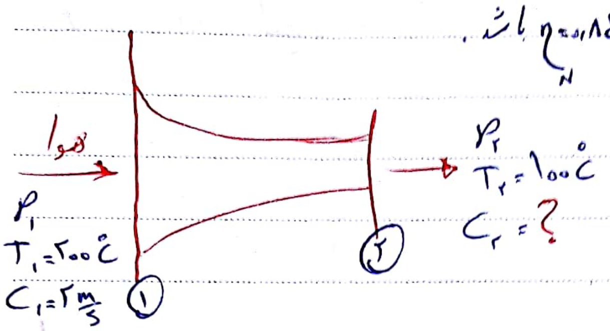
$$\eta_T = \frac{2855.4 - 3051.2}{3554.67 - 3051.2}$$

PAPCO

Subject:
Date

تمرین :

اگر $\eta_N = ۰٫۸۵$ باشد.



$$\eta_N = \frac{C_{۲a}^۲ - C_۱^۲}{C_{۲is}^۲ - C_۱^۲} \Rightarrow ۰٫۸۵ = \frac{C_{۲a}^۲}{C_{۲is}^۲} = \frac{C_{۲a}^۲}{?} \qquad \text{I}$$

$$c_p(T_۱ - T_{۲a}) = h_۱ - h_{۲a} = \frac{۱}{۲}(C_{۲a}^۲ - C_۱^۲) \qquad \text{II}$$

$$c_p(T_۱ - T_{۲is}) = h_۱ - h_{۲is} = \frac{۱}{۲}(C_{۲is}^۲ - C_۱^۲) \qquad \text{III}$$

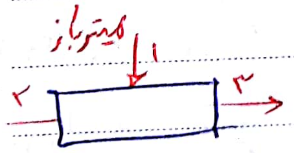
$$\frac{T_{۲is}}{T_۱} = \left(\frac{P_۲}{P_۱}\right)^{\frac{\gamma-۱}{\gamma}} \Rightarrow \frac{T_{۲is}}{۲۹۳٫۱۵} = \left(\frac{۱}{۵}\right)^{\frac{۱٫۴-۱}{۱٫۴}} \Rightarrow T_{۲is} = ۱۸۵٫۱\ K$$

$$\text{II}: ۱٫۰۰۴(۲۹۳٫۱۵ - T_{۲a}) = \frac{۱}{۲\times۱۰۰۰}(C_{۲a}^۲ - ۴)$$

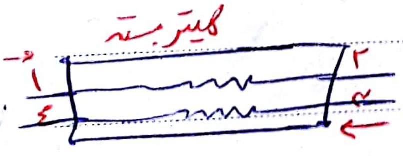
$$\text{III}: ۱٫۰۰۴(۲۹۳٫۱۵ - \overset{۱۸۵٫۱}{T_{۲is}}) = \frac{۱}{۲\times۱۰۰۰}(C_{۲is}^۲ - ۴) \longrightarrow C_{۲is} = ۴۶۶$$

$$\text{I}: ۰٫۸۵ = \frac{C_{۲a}^۲}{۴۶۶} \Rightarrow C_{۲a}^۲ =$$

نکته : راندمان در هیتر



$$\eta_H(m_۱h_۱ + m_۲h_۲) = m_۳h_۳$$



$$\eta_H m_۱(h_۱ - h_۲) = m_۳(h_۴ - h_۳)$$

PAPCO

Scanned by CamScanner

انتروپی: در بحث قانون اول برای سیکل $\oint \delta Q = \oint \delta W$ و برای

تحول ها $Q - W = \Delta U$ برای سیستم بسته یک خاصیت تعریف شد به نام انرژی

داخلی و در بحث قانون دوم برای سیکل $\oint \frac{\delta Q}{T} \leq 0$ و برای تحول ها خاصیتی

به نام انتروپی تعریف می شود. نابرابری کلاسیوس لازمه قانون دوم می باشد.

با خاصیتی به نام انتروپی می توانیم در مورد کیفیت قانون دوم برای تحول ها

بحث کنیم.

$\oint \frac{\delta Q}{T} \leq 0$ $\quad \frac{Q_H}{T_H} = \frac{Q_L}{T_L}$

اثبات رابطه کلاسیوس

$\oint \delta Q = Q_H - Q_L > 0$

برای سیکل برگشت پذیر

$$\frac{Q_H}{Q_L} = \frac{T_H}{T_L} \Longrightarrow \oint \frac{\delta Q}{T} = \frac{Q_H}{T_H} - \frac{Q_L}{T_L} = 0$$

برای سیکل برگشت ناپذیر: $W_{irr} < W_{rev}$ و $W = Q_H - Q_L$

$$(Q_H - Q_{L irr}) < (Q_H - Q_{L rev}) \Longrightarrow Q_{L irr} > Q_{L rev}$$

$$\oint \frac{\delta Q}{T} = \frac{Q}{T_H} - \frac{Q_{L irr}}{T_L} < 0 \qquad \oint \delta Q = Q - Q_{L irr} > 0$$

برای همه سیکل ها (هم ماشین حرارتی و پمپ حرارتی)

اگر بخواهیم کنترل کنیم که یک سیستم یا یک سیکل قانون دوم را نقض نمی کند یک

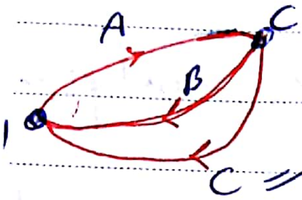
راه این است که راندمان را حساب می کنیم و باید از راندمان کارنو کمتر باشد

Scanned by CamScanner

راه دوم: انتگرال $\frac{\delta Q}{T}$ را حساب می‌کنیم باید $\oint \frac{\delta Q}{T} \leq 0$ شود

رابطه انتروپی: گفتیم که قانون دوم منجر به تعریف خاصی برای سیستم شد به نام انتروپی

این تغییرات انتروپی را چگونه نشان می‌دهیم



برای فرایند برگشت‌پذیر $\oint \frac{\delta Q}{T} = 0 = \int_{1A}^{2} \frac{dQ}{T} + \int_{2B}^{1} \frac{\delta Q}{T} = 0$

$$\oint \frac{\delta Q}{T} = 0 = \int_{1A}^{2} \frac{\delta Q}{T} + \int_{2C}^{1} \frac{\delta Q}{T} = 0$$

این انتگرال مستقل از مسیر است و فقط تابع حالات ابتدایی و انتهایی مسیر می‌باشد بنابراین برابر با تغییرات یک خاصیت که نام آن خاصیت را انتروپی گذاشته‌اند.

$$\Rightarrow \int_{2B}^{1} \frac{\delta Q}{T} = \int_{2C}^{1} \frac{\delta Q}{T}$$

$$ds \equiv \frac{\delta Q}{T}\Big|_{rev}$$

$$S_{\text{کل}} = m\, s_{\text{ویژه}}$$

$$S_2 - S_1 = \int_1^2 \frac{\delta Q}{T}\Big|_{rev}$$

تغییرات انتروپی یک سیستم وقتی تغییرات صورت بگیرد.

Subject:

Day. Month. Year. ( )

- آنتروپی همه مواد خالص در دمای صفر مطلق ($-273\ K$) دارای مقدار صفر خواهد بود (این قانون مقادیر آنتروپی مطلق را می‌دهد.

Q تابع مسیر $\longrightarrow$ δQ دیفرانسیل غیرکامل

$\frac{\delta Q}{T}\Big|_{rev}$ $\longleftrightarrow$ یک دیفرانسیل کامل

$\frac{1}{T}$ عامل تبدیل دیفرانسیل غیرکامل به کامل

قانون سوم ترمودینامیک:

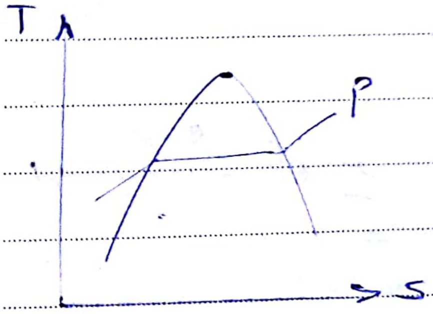
$$S_2 - S_1 = \int_1^2 \frac{\delta Q}{T}\Big|_{rev}$$

$S_2 - S_1$: تابع مسیر نیست

$\int_1^2 \frac{\delta Q}{T}\Big|_{rev}$: تابع مسیر نیست

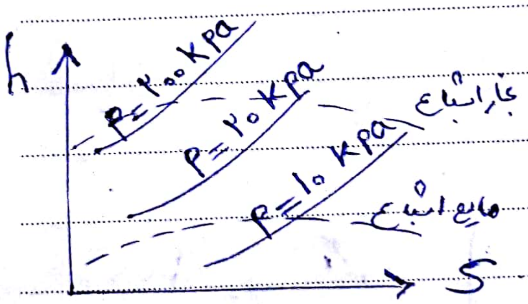
واحد آنتروپی: $\frac{kJ}{kg \cdot K}$ یا $\frac{BTU}{lb_m \cdot R}$

آنتروپی ماده خالص:



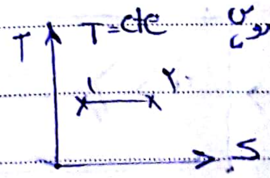
آنتروپی یک ماده خالص در مخلوط مایع و بخار

$$S = S_f + x\, S_{fg}$$



دیاگرام مولیر

نمودار آنتالپی - آنتروپی



$$ds = \frac{\delta Q}{\delta T}\Big|_{rev}$$

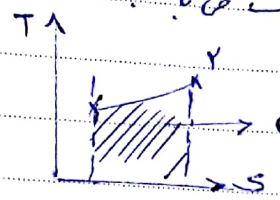
$\Delta S = \frac{{}_1Q_2}{T}$ برای تحول هم‌دما

$ds = 0$ برای تحول آیزنتروپیک

Shuter

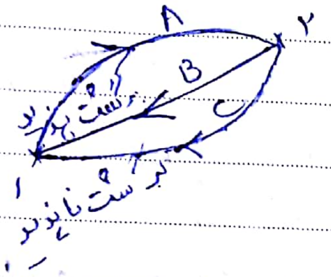
Scanned by CamScanner

برگشت پذیر داخلی: فرآیندهایی هستند که درون مرزهای سیستم با برگشت ناپذیری همراه نیستند. سطح زیر منحنی فرآیند در نمودار T-S نمایانگر میزان انتقال حرارت می‌باشد.



$Q = \int T\, dS$

تغییرات آنتروپی در طی یک فرآیند برگشت ناپذیر:



برگشت پذیر: $\oint \frac{\delta Q}{T} = \int_{1_A}^{2} \frac{\delta Q}{T} + \int_{2_B}^{1} \frac{\delta Q}{T} = 0$

برگشت ناپذیر: $\oint \frac{\delta Q}{T} = \int_{1_A}^{2} \frac{\delta Q}{T} + \int_{2_C}^{1} \frac{\delta Q}{T} < 0$

پس نتیجه می‌شود که: $\int_{2_B}^{1} \frac{\delta Q}{T} > \int_{2_C}^{1} \frac{\delta Q}{T}$

$$\int_{2_B}^{1} \frac{\delta Q}{T} = \int_{2_B}^{1} dS = \int_{2_C}^{1} dS$$

$$\Rightarrow \boxed{\int_{2_C}^{1} dS > \int_{2_C}^{1} \frac{\delta Q}{T}}$$ در مسیر برگشت ناپذیر

$$dS > \frac{\delta Q}{T}\Big)_{IR}$$

IR ← برگشت ناپذیر IRReversible

$dS = \frac{\delta Q}{T}\Big)_{rev} \rightarrow \boxed{dS \geq \frac{\delta Q}{T}}$ اگر $\delta Q = 0$ (حرارت نداشته باشیم) $\rightarrow dS \geq 0$

اگر برگشت پذیر باشد ← مثل آیزنتروپیک ← $\boxed{dS = 0}$

$dS > 0$ در برگشت ناپذیری

$S_2 - S_1 > 0 \rightarrow \boxed{S_2 > S_1}$

Shuter

Scanned by CamScanner

Subject:

Day. Month. Year. ( )

در انتقال حرارت منفی $\delta Q<0$ ، ظاهراً آنتروپی کاهش می‌یابد ولی تأثیر برگشت ناپذیری‌ها هنوز باعث افزایش آنتروپی می‌شود. (عوامل برگشت ناپذیری‌ها)

– Lost work (کار از دست رفته) → (LW)

در تحول برگشت پذیر → $pdV = \delta W$

در تحول برگشت ناپذیر → $pdV = \delta W + \delta(LW)$

در معادله اساسی:

$$Tds = du + pdv$$

$$Tds = du + \delta W + \delta LW$$

$$\delta Q = du + \delta W$$

$$\Rightarrow Tds = \delta Q + \delta LW \Rightarrow ds = \frac{\delta Q}{T} + \frac{\delta LW}{T}$$

$$ds > \frac{\delta Q}{T}$$ → $ds > \frac{\delta Q}{T}$ برای برگشت ناپذیر ، $ds = \frac{\delta Q}{T} + \frac{\delta LW}{T}$

برای برگشت پذیر → $\boxed{ds = \frac{\delta Q}{T}}$

روابط ① و ② می‌گویند که ② راه برای افزایش آنتروپی وجود دارد: ① – از طریق انتقال حرارت به سیستم ② – از طریق قرار دادن سیستم در یک تحول برگشت ناپذیر.

افزایش آنتروپی ناشی از برگشت ناپذیری‌ها تولید آنتروپی می‌کند. در فرایندهای برگشت ناپذیر مقدار کار برابر $W=\int pdV$ نمی‌باشد. و در فرایندهای برگشت ناپذیر نیز مقدار حرارت برابر $Q=\int Tds$ نمی‌باشد (در برگشت پذیر مساوی هستند).

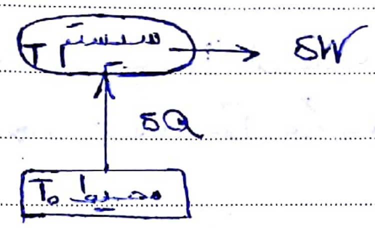
Shuter

Scanned by CamScanner

- اصل افزایش آنتروپی:

$ds_{\text{محیط}} + ds_{\text{سیستم}} \geq 0$

اثبات رابطه بالا:



$ds_{\text{سیستم}} \geq \frac{\delta Q}{T}$

$ds_{\text{محیط}} = -\frac{\delta Q}{T_0}$

$$\Delta S_{\text{کل}} \geq \frac{\delta Q}{T} - \frac{\delta Q}{T_0} = \delta Q\left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0}\right)$$

اگر $T_0 > T$ باشد و اصل سوال انتروپی یعنی: $\boxed{\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} > 0}$ «بزرگتر از صفر می‌شود»

پس $\Delta S_{\text{کل}} \geq 0$

اگر $T_0 < T$ باشد: $\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} < 0$ و پس $\delta Q < 0$

⇓

پس $\Delta S \geq 0$

اصل افزایش آنتروپی به عنوان صورت کلی بیان شده قانون دوم است (از دیدگاه ماکروسکوپیک)
اگر سیستم عایق باشد (یعنی $\delta Q = 0$) تنها تحول‌های امکان وقوع دارد که همراه با افزایش آنتروپی باشد. به در این حالت تغییری در آنتروپی محیط اطراف وجود ندارد.

$ds_{\text{سیستم عایق}} \geq 0$ سیستم مجزا

- تغییرات آنتروپی برای گازهای کامل چگونه به دست می‌آید؟

معادله انرژی: $dQ - dW = du$

$T\,ds - p\,dv = du$

$T\,ds = du + p\,dv$

$ds = \frac{du}{T} + \frac{p}{T}\,dv$

Shuter

Scanned by CamScanner

Subject:
Day. Month. Year. ( )

$$\begin{cases} \int du = \int c_v \, dT \\ PV = RT \Rightarrow \frac{P}{T} = \frac{R}{V} \end{cases}$$

برای گاز کامل

$$\int ds = \int c_v \frac{dT}{T} + \frac{R}{V} dV$$

$$\int ds = \int c_v \frac{dT}{T} + R \int \frac{dV}{V}$$

اگر c_v ثابت باشد

$$\int ds = c_v \int \frac{dT}{T} + R \int \frac{dV}{V} \Rightarrow \boxed{\Delta S = c_v \ln \frac{T_2}{T_1} + R \ln \frac{V_2}{V_1}}$$

رابطه تغییرات آنتروپی برحسب V, T

$$\delta Q - \delta W = du$$

$$\downarrow$$

$$T ds = dh - V dp \Rightarrow ds = \frac{c_p dT}{T} - \frac{V}{T} dp$$

$$\frac{V}{T} = \frac{R}{P} \leftarrow$$ برای گاز کامل $\boxed{PV = RT}$

$$\boxed{S_2 - S_1 = c_p \ln \frac{T_2}{T_1} - R \ln \frac{P_2}{P_1}}$$

تغییرات آنتروپی برای گاز کامل برحسب P, T

- تغییرات آنتروپی برحسب P و V چگونه می‌شود؟

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2} \Rightarrow \frac{T_2}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{P_1 V_1}$$

$$S_2 - S_1 = c_p \ln \left(\frac{P_2}{P_1} \cdot \frac{V_2}{V_1} \right) - R \ln \frac{P_2}{P_1} =$$

$$c_p \ln \frac{P_2}{P_1} + c_p \ln \frac{V_2}{V_1} - R \ln \frac{P_2}{P_1}$$

Shuter

Scanned by CamScanner

Subject:

Day. Month. Year. ( )

$R = C_p - C_v \rightarrow C_p - R = C_v$

$S_2 - S_1 = C_v \ln \frac{P_2}{P_1} + C_p \ln \frac{V_2}{V_1}$ ΔS برحسب P و V برای گاز کامل

- اگر ماده خالص باشد S_1 و S_2 از جدول برحسب سایر خواص مثل
  - P, T
  - V, T
  - V, P

به دست می‌آید. بعد اختلاف آنها را حساب می‌کنیم که می‌شود:

$\Delta S = S_2 - S_1$

$\Delta S = S_2 - S_1$

قانون دوم ترمودینامیک در مورد حجم کنترل

Shuter

Scanned by CamScanner